উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা

ডক্টর জীবেশ গুহ

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ

উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা

[Plant Physiology]

COMPLIMENTARY

ডঃ জীবেশ গুহ

এম. এসসি., পিএইচ. ডি.

সুরেন্দ্রনাথ কলেজ, কলিকাতা

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ

UDVID SARIRBIDYA

Dr. Jibes Guha

প্রথম প্রকাশ : নভেম্বর, ১৯৮১

প্রকাশক :
পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ
(পশ্চিমবঙ্গ সরকারের একটি সংস্থা)
আর্য ম্যান্‌সন্, নবম তল
৬-এ, রাজা সুবোধ মল্লিক স্কোয়ার
কলিকাতা ৭০০ ০১৩

মুদ্রক :
অরুণকুমার চট্টোপাধ্যায়
জ্ঞানোদয় প্রেস
৫৫বি, কবি সুকান্ত সরণি
কলিকাতা ৭০০ ০৮৫

প্রচ্ছদ : শ্রীকমল শেঠ

Published by Prof. Dibyendu Hota, Chief Executive Officer, West Bengal State Book Board, under the Centrally Sponsored Scheme of production of books and literature in regional languages at the University level of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

ভূমিকা

বিংশ শতাব্দীর প্রারম্ভে প্রায় সমস্ত শিক্ষাবিদই মাতৃভাষার মাধ্যমে বিজ্ঞান শিক্ষার গুরুত্ব উপলব্ধি করেন এবং বিজ্ঞান পঠন-পাঠনের ক্ষেত্রে মাতৃভাষায় গ্রন্থ প্রণয়নের প্রয়োজনীয়তার কথা উল্লেখ করেন। পশ্চিম বঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ ও বিভিন্ন গ্রন্থকারের প্রচেষ্টায় এ যাবৎ একাধিক বিজ্ঞান বিষয়ক গ্রন্থ প্রকাশিত হইয়াছে।

বাংলা ভাষায় উদ্ভিদবিদ্যা পাঠ্যপুস্তক প্রকাশের কর্মসূচীর অংশরূপেই বর্তমান পুস্তকটি রচিত হইয়াছে। উদ্ভিদবিদ্যার স্নাতক পাঠ্যক্রমের শারীরবিদ্যা অংশ লিখিবার ভার গ্রন্থকারের উপর অর্পিত হইয়াছে। পুস্তকটি পঃ বঙ্গের বিভিন্ন বিশ্ববিদ্যালয়ের পাঠ্যক্রম অনুসারে স্নাতক শ্রেণীর ছাত্র-ছাত্রীদের উপযোগী করিয়া সহজ, সরল ও বোধগম্য ভাষায় লিখিবার চেষ্টা করা হইয়াছে। বিষয়বস্তু বুঝাইবার জন্য যথাযোগ্য চিত্র ব্যবহার করা হইয়াছে। পুস্তকের শেষে একটি সাধারণ নির্দেশ গ্রন্থের তালিকা রাখা হইয়াছে। আধুনিক জ্ঞানলাভের জন্য প্রতিটি অধ্যায়ের জন্য বিশেষ গ্রন্থ ও পত্রিকার তালিকাও লিপিবদ্ধ করা হইয়াছে। পরিভাষা বিষয়ে বিশ্ববিদ্যালয় কর্তৃক প্রকাশিত পরিভাষা গ্রন্থের সাহায্য লওয়া হইয়াছে। প্রয়োজনানুসারে পুরাতন পারিভাষিক শব্দগুলির পরিবর্তন ও পরিমার্জনা করিয়া কিছু কিছু নূতন পারিভাষিক শব্দের ব্যবহার করা হইয়াছে। তবে পরিভাষা যাহাতে বিষয় বস্তু বুঝিবার পক্ষে অন্তরায় না হয় তাহার জন্য ইংরাজী প্রতিশব্দও পাশাপাশি বন্ধনীতে রাখা হইয়াছে এবং পুস্তকে ব্যবহৃত পারিভাষিক শব্দ গুলির একটি তালিকাও গ্রন্থে সংযোজিত হইয়াছে। পুস্তকে একাধিক দেশী উদ্ভিদের কার্যাবলী বর্ণনা করা হইলেও সঠিক তথ্যের অভাবে স্থানে স্থানে বিদেশী উদ্ভিদের উদাহরণও ব্যবহার করা হইয়াছে।

আমার পরম পূজ্যপাদ কল্যাণী বিশ্ববিদ্যালয়ের অধ্যাপক ডঃ শ্যামাপদ সেন মহাশয় এই পুস্তকের পুনরীক্ষণের (review) সময়ে মাসের পর মাস দীর্ঘক্ষণ ধরিয়া পুস্তকের প্রতিটি অধ্যায় পুঙ্খানুপুঙ্খভাবে আলোচনা ও বিচার করিয়া

এবং নানা মূল্যবান পরামর্শ দিয়া পুস্তকের মনোন্নয়নে প্রয়াসী হইয়াছেন। তাঁহার এই সীমাহীন স্নেহের ঋণে আমি চিরকালের জন্য ঋণী থাকিয়া গেলাম।

এই পুস্তকের প্রকাশন কার্যের প্রতি পদে পশ্চিমবঙ্গ পুস্তক পর্ষদের মুখ্য প্রশাসন আধিকারিক অধ্যাপক দিব্যেন্দু হোতা মহাশয়ের এবং পর্ষদের অন্যান্য কর্মীবৃন্দের অকৃপণ সহযোগিতা ও সহৃদয় আগ্রহের জন্য আমি তাঁহাদের আন্তরিক কৃতজ্ঞতা জানাইতেছি। মুদ্রণ সৌকর্যের কৃতিত্ব অবশ্যই জ্ঞানোদয় প্রেসের শ্রীঅরুণকুমার চট্টোপাধ্যায় মহাশয়ের প্রাপ্য।

এই পুস্তক প্রণয়নে যাঁহাদের নিকট হইতে আমি নানবিধ সক্রিয় সহযোগিতা লাভ করিয়াছি তাহাদের মধ্যে ডঃ শুভেন্দু মুখার্জী, ডঃ নরেন্দ্র মোহন দত্ত, অধ্যাপক দেবব্রত মিত্র, অধ্যাপক সলিল চৌধুরী ও শ্রীনির্মল মিত্র মহাশয়ের নাম উল্লেখযোগ্য। তাঁহাদের প্রত্যেকের নিকট কৃতজ্ঞতা পাশে আবদ্ধ।

পুস্তকের পরিভাষা, সমালোচনা ও ত্রুটি বিচ্যুতি সম্বন্ধে সর্বপ্রকার মতামত গ্রন্থকার সাদরে গ্রহণ করিবেন।

পরিশেষে যাহাদের জন্য এই পুস্তকটি লেখা হইল তাহারা উপকৃত হইলেই আমার শ্রম সার্থক হইয়াছে বলিয়া মনে করিব।

কালিন্দী
কলিকাতা
নভেম্বর, ১৯৮১

জীবেশ গুহ

সূচীপত্র

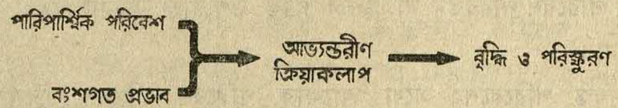
উদ্ভিদ-জীবন ও পরিবেশ

(Plant life and environment)

উদ্ভিদ জীবনের স্বাভাবিক ঘটনাসমূহের বিশদ্ ব্যাখ্যাকেই **উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা** (plant physiology) রূপে আখ্যা দেওয়া হয়। বস্তুতঃ উদ্ভিদের বিভিন্ন কার্যকারিতা এবং উদ্ভিদ জীবনের উপর পরিবেশ পরিবর্তনের প্রতিক্রিয়া উদ্ভিদ শারীরবিদ্যার প্রধান উপজীব্য।

উদ্ভিদের ধারাবাহিক কার্যাবলীকেই প্রাকৃতিক ঘটনা বলা হয়। যেমন, শ্বসন, প্রস্বেদন, সালোকসংশ্লেষ, পরিবহণ, পুষ্প প্রস্ফুটন এবং বীজ প্রস্তুতি। আবার কার্যকারিতা বলিতে বুঝায় কোষ, কলা, অঙ্গ, কোষস্থ অঙ্গ বা রাসায়নিক বস্তুর ক্রিয়াকলাপ। উপরোক্ত ঘটনাসমূহ ও কার্যকারিতা পরস্পরের উপর নির্ভরশীল এবং আলোক, উষ্ণতা, জল প্রভৃতি বহিঃস্থ পরিবেশ ইহাদের গতি ও প্রকৃতি প্রভাবান্বিত করে। সুতরাং পরিবেশ পরিবর্তনে উপরোক্ত ঘটনা ও কার্যকারিতা কিভাবে প্রতিক্রিয়া করে তাহাই উদ্ভিদ শারীরবিদ্যার আলোচনার বিষয়।

উদ্ভিদ শারীরবিদ্যায় বংশগত (hereditary) এবং পরিবেশগত (environmental) প্রভাব বিশেষ কার্যকর। উভয় প্রভাবই উদ্ভিদের অন্তঃস্থ পরিবেশ ও ঘটনাকে নিয়ন্ত্রিত করে।



উদ্ভিদের চূড়ান্ত গঠন, আয়তন, জটিলতা, উদ্ভিদের জেনেটিক গঠন ও পরিবেশের মিথস্ক্রিয়তার ফলে সংঘটিত হয়। বংশগত প্রভাবের উপর ভিত্তি করিয়া পরিবেশের প্রভাব কার্যকর হয়, কিন্তু পরিবেশের পরিবর্তনে উদ্ভিদের যে পরিবর্তন সম্পাদিত হয় তাহা বংশপরম্পরায় (inherited) বাহিত হয় না।

নিউক্লিক অ্যাসিড-ই প্রাথমিক জেনেটিক পদার্থ যাহা বংশগত সংবাদকে

এক জন্তু হইতে অন্য জন্তুতে বাহিত করে (বিশদ্ আলোচনার জন্য তৃতীয় ও অষ্টম অধ্যায় দ্রষ্টব্য)। পারিপার্শ্বিক প্রভাবগুলির মধ্যে আলোক, উষ্ণতা, জল, গ্যাসীয় পদার্থ, খনিজ দ্রব্য ও pH বিশেষ উল্লেখযোগ্য। পারিপার্শ্বীয় প্রভাবগুলি সাধারণভাবে চারিপ্রকার শারীরবৃত্তীয় পরিবর্তন সম্পন্ন করে।

(ক) পরিবেশের প্রভাবে উদ্ভিদের উপাদান বা গঠনের পরিবর্তন ঘটিয়া থাকে। যেমন আলোকের উপস্থিতিতে উদ্ভিদ পত্র সবুজ হয় ও বিস্তৃতি লাভ করে।

(খ) পরিবেশ তারতম্যে উদ্ভিদের শারীরবৃত্তীয় পদ্ধতিগুলির পরিবর্তন ঘটে। যেমন প্রস্বেদন ও সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিগুলি আলোক ও CO_2 দ্বারা প্রভাবিত হয়।

(গ) একাধিক পারিপার্শ্বীয় প্রভাব নূতন ঘটনাসমূহের সূত্রপাত ঘটায়। যেমন উষ্ণতা ও আলোকের প্রভাবে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণ নিয়ন্ত্রিত হয়।

(ঘ) উদ্ভিদের উন্নতি ও বণ্টনের উপরেও পরিবেশের প্রভাব লক্ষণীয়।

বিভিন্ন পরিবেশের প্রভাবে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণের নিয়ন্ত্রণ দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, উদ্ভিদের উপলব্ধি (perception) ক্ষমতা বিদ্যমান। পরিবেশ উপলব্ধির পর উদ্ভিদের বিক্রিয়াগুলি সম্পাদিত হয়। উপলব্ধির কয়েক সেকেণ্ডের মধ্যেই এই বিক্রিয়াগুলি ঘটিতে পারে যেমন আলোক তীব্রতা পরিবর্তনে সালোকসংশ্লেষের পরিবর্তন। অপর পক্ষে পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন বা ট্রপিক চলন উপলব্ধির কয়েক ঘণ্টা পর কার্যকর হয়। আলোকপর্যাবৃত্তির (photoperiodism) ক্ষেত্রে উপলব্ধি ও বিক্রিয়ার সময়কাল কয়েকদিন হইতে কয়েক সপ্তাহ পর্যন্ত হয়। উদ্ভিদের সুপ্তাবস্থা (dormancy), বাসন্তীকরণ (vernalization), বামনত্ব (dwarfism) প্রভৃতি ক্ষেত্রে একটি পরিবেশ হইতে অপর পরিবেশ পরিবর্তন না হওয়া পর্যন্ত উপরোক্ত ঘটনাসমূহের পরিবর্তন ঘটে না।

সমস্ত পরিবেশের মধ্যে আলোক পরিবেশ বিশেষ উল্লেখযোগ্য। আলোকের তীব্রতা (intensity), বৈশিষ্ট্য (quality) এবং স্থিতিকাল (duration) বহু শারীরবৃত্তীয় ঘটনাকে প্রভাবান্বিত করে। সূর্য হইতে আগত দৃশ্যমান (visible) আলোকেই সমস্ত জৈবিক তন্ত্রে সর্বাধিক কার্যকর। উদ্ভিদের ট্রপিক চলন, বীজের অঙ্কুরোদ্গম, আলোকপর্যাবৃত্তি প্রভৃতি শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া-কলাপের কার্যবর্ণালী (action spectrum) দৃশ্যমান আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের

(wavelength) মধ্যে সীমাবদ্ধ। উপরোক্ত বিভিন্ন প্রতিক্রিয়াগুলি উদ্ভিদের বিভিন্ন রঞ্জক পদার্থের মাধ্যমে সম্পাদিত হয়। এই রঞ্জক পদার্থগুলি অসম্পৃক্ত কার্বন অণু (যেমন ক্যারটিনয়েডস্), কার্বন ও নাইট্রোজেন (যেমন ফ্ল্যাভিন), কার্বন, নাইট্রোজেন ও ধাতু সমন্বিত (যেমন ক্লোরোফিল) অথবা পাইরল সমন্বিত (যেমন ফাইটোক্রোম) হইতে পারে। সুতরাং বিভিন্ন রঞ্জক পদার্থ শোষিত আলোক শক্তিকে সুগঠিত রাসায়নিক তন্ত্রে স্থানান্তরিত করে। ক্লোরোফিল সংশ্লেষ, সালোকসংশ্লেষ এবং আলোক শ্বসন (photorespiration) প্রভৃতি বিভিন্ন সংশ্লেষ পদ্ধতিতে আলোক অপরিহার্য। একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাবে বৃদ্ধি তারতম্যের ফলে সংঘটিত ট্রপিক চলন এবং আলোক ও অন্ধকারের প্রভাবে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণ (আলোকপর্যাবৃত্তি, বীজের অঙ্কুরোদ্গম প্রভৃতি) সমস্তই আলোকের প্রভাবে সংঘটিত বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় পদ্ধতি। ক্লোরোফিল দ্বারা শোষিত আলোক সালোকসংশ্লেষ, ফাইটোক্রোম দ্বারা শোষিত আলোক বৃদ্ধি, পরিস্ফুরণ ও সুপ্তাবস্থায় এবং ক্যারটিনয়েড ও রাইবোফ্ল্যাভিন দ্বারা শোষিত আলোক ট্রপিক চলনে বিশেষ কার্যকর।

আমাদের চোখে আলোকের উপলব্ধি যেমন রেটিনায় রেটিনিন নামক রঞ্জক পদার্থের সিস্ (*cis*) ও ট্রান্স্ (*trans*) আলোক পরিবর্তনের ফলে ঘটে ঠিক তেমনি উদ্ভিদের শারীরবৃত্তীয় কার্যেও রঞ্জক পদার্থে কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধে সিস্ ও ট্রান্স্ পরিবর্তনের অনুরূপ ঘটনা ঘটিতে পারে। ক্যারটিনের সিস্ ও ট্রান্স্ পরিবর্তন ব্যতীত ফাইটোক্রোমের লাল ও সুদূর লাল ($Pr \rightarrow Pfr$) পরিবর্তনও দ্বিবন্ধের সিস্ ও ট্রান্স্ পরিবর্তনের ফলে ঘটে। অনেক ক্ষেত্রে রঞ্জক পদার্থের ক্রিয়া জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার ফলেও সংঘটিত হয়।

উপরোক্ত শারীরবৃত্তীয় কার্য ছাড়াও হরমোন ও উৎসেচক নিয়ন্ত্রণেও আলোকের প্রভাব বিশেষভাবে লক্ষণীয়। এ ছাড়াও উদ্ভিদের বিভিন্ন ক্রিয়াকলাপের আহ্নিক পরিবর্তন আলোক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। পত্র ও পুষ্প উন্মোচনের অন্তর্জনিষ্ণু ছন্দ (endogenous rhythm) অথবা পত্র রন্ধ্রের চলন, সালোকসংশ্লেষ ক্ষমতা বা মূলের বৃদ্ধির আহ্নিক ছন্দ সবই এই আলোকের প্রভাব।

মৃত্তিকা ও বায়ুর উষ্ণতা উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণে বিশেষ প্রভাব বিস্তার করে। সাধারণভাবে সমস্ত জৈবিক কার্যকারিতা মোটামুটি O° হইতে 50°C (সেন্টিগ্রেডের বা সেলসিয়াসের) মধ্যে সীমাবদ্ধ। O°C সেন্টিগ্রেড জলের

হিমাঙ্ক (freezing point) এবং 50°C সেন্টিগ্রেডের উর্দ্ধে প্রোটীনের বিকলন (denaturation) হয়; তাই O°C-এর নিম্নে ও 50°C-এর উর্দ্ধে সাধারণতঃ উদ্ভিদের শারীরবৃত্তীয় কার্য সম্ভব হয় না। উষ্ণতার ফলে বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধিকে উষ্ণতাঙ্ক (temperature coefficient বা Q_{10}) বলা হয়। কোন বিশেষ একটি উষ্ণতায় বিক্রিয়ার হার ও তাহার 10°C বর্দ্ধিত উষ্ণতায় বিক্রিয়া হারের অনুপাতকে উষ্ণতাঙ্ক বলা হয়। অর্থাৎ

$$Q_{10} = \frac{Rt + 10}{Rt}, \ Rt = t \text{ C-এ বিক্রিয়ার হার।}$$

সাধারণতঃ ব্যাপন প্রভৃতি ভৌত কার্য প্রণালীর উষ্ণতাঙ্ক 1·2 হইতে 1·4-এর মধ্যে হয় কিন্তু উৎসেচক নিয়ন্ত্রিত কার্যের উষ্ণতাঙ্ক সাধারণতঃ 2 অথবা 2-এর কাছাকাছি হয়। উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত রাসায়নিক প্রক্রিয়ার হার বৃদ্ধি সমানুপাতিক। উদ্ভিদ জীবনের বহু প্রক্রিয়া উৎসেচক-অনুঘটিত। সুতরাং তাপবৃদ্ধির সহিত জৈবিক প্রক্রিয়া নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বৃদ্ধি পায়। উহার নিম্নে বা উর্দ্ধে বিক্রিয়ার হার কমিয়া যায়।

উদ্ভিদের বৃদ্ধি একটি উৎসেচক নিয়ন্ত্রিত প্রক্রিয়া বলিয়া ইহা উষ্ণতা প্রতিক্রিয়াশীল। নিম্ন উষ্ণতায় (O°C—15°C) সাধারণতঃ উদ্ভিদের বৃদ্ধি ঘটিলেও 20—35°C বৃদ্ধির পক্ষে পরম উষ্ণতা। অতি পরম (supraoptimal) উষ্ণতায় (40—50°C) প্রোটোপ্লাসমের বিকলন ঘটে ফলে বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। টমেটো প্রভৃতি উদ্ভিদের ক্ষেত্রে আহ্নিক রাত্রি-দিবা উষ্ণতার পরিবর্তনে উদ্ভিদকে দিবাভাগে 26°C উষ্ণতায় রাখার পর রাত্রে নিম্ন উষ্ণতা (17°C) রাখিলে অধিক বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। উষ্ণতার এই প্রভাবকে উষ্ণতাপর্যাবৃত্তি (thermoperiodism) বলা হয়। রাত্রির নিম্ন উষ্ণতা শুধুমাত্র উদ্ভিদের বৃদ্ধির পক্ষে উপযোগী নয়, উদ্ভিদের শর্করা বৃদ্ধিতেও বিশেষ কার্যকর। বৃদ্ধি ব্যতীত উষ্ণতা একাধিক বীজের সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ করিতেও প্রয়োজন হয়। সুতরাং এই সমস্ত বীজে নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োগ ব্যতীত অঙ্কুরোদ্গম ঘটে না (বিশদ আলোচনা বিংশ অধ্যায়ে)। কোন কোন দ্বিবর্ষজীবী (biennial) উদ্ভিদের ক্ষেত্রে নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োগ ব্যতীত পুষ্পোদ্গম ঘটে না (বিশদ আলোচনা অষ্টাদশ অধ্যায়ে)। নিম্ন উষ্ণতায় যেমন উদ্ভিদের বাসন্তীকরণ (vernalization) ঘটে অধিক উষ্ণতায় ইহার বিপরীত প্রক্রিয়া পরিলক্ষিত হয়। উদ্ভিদের বামনত্ব (dwarfism) এবং সুপ্তাবস্থাও উষ্ণতা নির্ভরশীল।

একাধিক সজীব বস্তুর ন্যায় উদ্ভিদও জলীয় মাধ্যমে সক্রিয়। উদ্ভিদ জীবনে জলের ভূমিকা জৈব রাসায়নিক এবং জৈব-ভৌতিক উভয় বিষয়েই বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। হাইড্রোজেন বন্ধনী ছাড়াও জল অধিক আপেক্ষিক গুরুত্ব ও তাপ সম্পন্ন হওয়ায় ইহা বিশেষ ভৌত-রাসায়নিক গুণ সম্পন্ন। জল উদ্ভিদ কোষে শুধুমাত্র দ্রাবকের (solvent) কার্য করে তাহা নহে, প্রোটীন ও নিউক্লিক অ্যাসিডের ত্রিমাত্রিক গঠনেও ইহার উপস্থিতি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। উদ্ভিদের জলীয় পরিবেশে জল ও প্রোটীনের বিপরীত আধানের স্থানে হাইড্রোজেন বন্ধনী ঘটে ; সুতরাং জলের অভাবে প্রোটীন গঠনের বিকৃতি ঘটে। উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলেও উপরোক্ত হাইড্রোজেন বন্ধনীর বিনাশ ঘটে ফলে প্রোটীনের বিকলন পরিলক্ষিত হয়। নিম্ন উষ্ণতায় (O°C) জল কেলাসিত হওয়ায় প্রোটীনের সাধারণ গঠন নষ্ট হয়। নিউক্লিক অ্যাসিড, পলিস্যাকারাইড প্রভৃতি কোষের অন্যান্য জৈব বৃহৎ অণুগুলিও (macromolecule) জলীয় পরিবেশে হাইড্রোজেন বন্ধনী দ্বারা যুক্ত থাকিয়া তাহাদের নির্দিষ্ট আকার বজায় রাখে। জল অভাবে এই বন্ধনী নষ্ট হইলে বৃহৎ অণুগুলির বিকলন পরিলক্ষিত হয়। কোষের বিভিন্ন উৎসেচক বিক্রিয়াগুলিও জলীয় মাধ্যমে বিশেষ কার্যকর।

জল একাধিক জৈবিক বিক্রিয়ার বিকারক (reagent) রূপে ব্যবহৃত হয়। সালোকসংশ্লেষে সাবস্ট্রেট ও শ্বসনে উৎপাদিত ফলরূপে ব্যবহৃত হয়।

জল স্বল্প তাড়িৎ-আধানপ্রাপ্ত হওয়ায় তাড়িৎ বিভব নতিমাত্রায় (electro-potential gradient) চলাচল করে না। ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন, অপরপক্ষে, তাড়িৎ-বিভব নতিমাত্রায় চলাচল করে। জল ব্যাপন প্রক্রিয়ায় মুক্ত শক্তির নতিমাত্রায় চলাচল করে। অভিস্রবনীয় প্রভাব এই নতিমাত্রা সৃষ্টিতে সহায়তা করে বলিয়া, অভিস্রবনীয় প্রভাবেও জলের চলাচল পরিলক্ষিত হয়। জল শোষণের ফলে উদ্ভিদ কোষে অধিক স্ফীতি চাপ ঘটে, ফলে কোষের বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। মূল ও কাণ্ডের প্রসারণ বৃদ্ধি (extension growth), পত্রের বিস্তার, উদ্ভিদ অঙ্গের বৃদ্ধি এবং পত্ররন্ধ্রের কার্য কোষের জল পরিমাণের উপর নির্ভরশীল।

কোষে জলের উপস্থিতিতে জৈব রাসায়নিক পদ্ধতিগুলিও প্রতিক্রিয়াশীল। বীজ ব্যতীত কোষে শতকরা 20 হইতে 25 ভাগ জল-ঘাটতি দেখা দিলে একাধিক বিপাকীয় দুর্ঘটনা পরিলক্ষিত হয়। এক কথায় উদ্ভিদ কোষে জল

ঘাট্‌তি ঘটিলে বা শোষণ অপেক্ষা প্রস্বেদন অধিক হইলে উদ্ভিদের বিপাক ব্যাহত হয় এবং পরিশেষে বৃদ্ধি হারের অবনতি ঘটে।

কোষের হাইড্রোজেন আয়ণ ঘনত্ব বা pH শারীরবৃত্তীয় কার্যে বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। বিভিন্ন পরিবেশে কোষের pH পরিবর্তিত হয়। ক্ষারীয় ও আম্লিক দুই অবস্থাতেই কোষের pH বিদ্যমান। কোষের pH-এর উপর প্রোটীনের অবস্থা নির্ভরশীল। স্বল্প pH-এ (অর্থাৎ আম্লিক পরিবেশে) প্রোটীন ধনাত্মক ও অধিক pH-এ (অর্থাৎ ক্ষারীয় পরিবেশে) প্রোটীন অধিক ঋণাত্মক গুণসম্পন্ন হয়। কোষ রসের কোলয়েড (colloid) ধর্মীতা প্রোটীনের আধানের উপর নির্ভরশীল। সাইটোপ্লাসমের pH পরিবর্তনে কোষ পর্দার ভেদ্যতা পরিবর্তিত হয়। কোষ পর্দার ভেদ্যতার সহিত একাধিক পদার্থের চলাচল জড়িত। পত্ররন্ধ্রের উন্মোচনে শ্বেতসার→শর্করার পরিবর্তন কোষের pH দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। আবার একাধিক খনিজ লবণের শোষণ ও উৎসেচকের কার্যকারিতাও pH-এর উপর নির্ভরশীল।

মৃত্তিকা ও বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত একাধিক প্রাকৃতিক রাসায়নিক পদার্থ উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণে কার্যকর। উদ্ভিদ মৃত্তিকা হইতে খনিজ লবণ মূলরোম দ্বারা শোষণ করে (বিশদ আলোচনা প্রথম অধ্যায়ে)। উদ্ভিদের ভৌত পরিবেশের মধ্যে অক্সিজেন ও কার্বন ডাই অক্সাইডের ভূমিকা বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। উদ্ভিদ শ্বসন প্রক্রিয়ার জন্য অক্সিজেন এবং আলোকের উপস্থিতিতে কার্বন ডাই অক্সাইড সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় ব্যবহার করে।

সুতরাং স্বল্প আলোক, চরম উষ্ণতা, জল পীড়ন ও পুষ্টির অভাব উদ্ভিদ বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণের প্রধান নিয়ন্ত্রকের কার্য করে। সাধারণতঃ উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদ অঙ্গসংস্থানগত ও শারীরবৃত্তীয় কার্যের মাধ্যমে উপরোক্ত পরিবেশ পীড়নে নিজেদের এড়াইয়া চলে। উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদেরা সাধারণ অবস্থায় পরিবেশের সম্ভাব্য অবস্থাগুলির অধিক সদ্ব্যবহার করিয়া নিজেদের অস্তিত্ব বজায় রাখে।

সপুষ্পক সবীজ উদ্ভিদের শারীরবিদ্যা সংক্রান্ত বিভিন্ন ব্যাখ্যা এই পুস্তকে লিপিবদ্ধ হইয়াছে। ব্যাক্টিরিয়া, শৈবাল, ছত্রাক প্রভৃতি নিম্ন শ্রেণীর উদ্ভিদের একাধিক শারীরবৃত্তীয় পদ্ধতির সহিত উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদের শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলীর মিল পরিলক্ষিত হইলেও নিম্ন শ্রেণীর উদ্ভিদের শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলী আলোচনা করার সুযোগ এখানে সীমিত; তাই এই পুস্তকে শুধুমাত্র উচ্চ শ্রেণীর বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় পদ্ধতিগুলিই আলোচিত হইয়াছে।

বিভাগ II

প্রথম অধ্যায়

উদ্ভিদ খনিজ পুষ্টি

(Mineral Nutrition of Plants)

উদ্ভিদ খনিজ পুষ্টির মৌলিক তত্ত্বটি কৃষিবিদ্যা ইতিহাসে অতি প্রাচীন কাল হইতেই স্বীকৃত হইলেও তাহার সঠিক ব্যাখ্যা তদানীন্তনকালে বোধগম্য ছিল না। কৃষিবিদ্যায় অতি প্রাচীন কাল হইতেই ইহা স্বীকৃত যে, মৃত্তিকায় উদ্ভিদ ও প্রাণীর ধ্বংসাবশেষের উপস্থিতিতে ফসলী উদ্ভিদের উৎপাদন বৃদ্ধি পায়।

তৃতীয় শতাব্দীতে অ্যারিস্টট্লের (Aristotle) প্রাথমিক ধারণা ছিল যে, উদ্ভিদের পক্ষে মৃত্তিকা একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। ষোড়শ ও সপ্তদশ শতাব্দীতে ভ্যান্ হেলমণ্ট (van Helmont) তাঁহার বিখ্যাত উইলো বৃক্ষের পরীক্ষা দ্বারা তাহা প্রমাণ করেন। তিনি তাঁর এই পরীক্ষায় 200 পাউণ্ড শুষ্ক মৃত্তিকা সমন্বিত একটি মাটির টবে 5 পাউণ্ড ওজনের একটি উইলো বৃক্ষ রোপণ করেন। 5 বৎসর পরে ঐ উইলো বৃক্ষের ওজন 169 পাউণ্ড হয় ; এই 5 বৎসর টবটিতে শুধুমাত্র জলসিঞ্চন করা হয়। পরে হেলমণ্ট ঐ টবটির মৃত্তিকার শুষ্ক ওজন করিয়া দেখেন যে ঐ মৃত্তিকার ওজন প্রায় 200 পাউণ্ডই রহিয়াছে। সুতরাং উপরোক্ত পরীক্ষা দ্বারা ইহা প্রমাণিত হয় যে, উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে মৃত্তিকা অপেক্ষা জলের প্রয়োজনীয়তাই বেশী। মৃত্তিকার মৌলের উপর উদ্ভিদ বৃদ্ধির নির্ভরশীলতার সঠিক উপলব্ধির কৃতিত্ব দ্য সসারের (de Saussure) প্রাপ্য। তিনি 1804 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে উদ্ভিদ ভস্মে (ash) যে সমস্ত অজৈব মৌল থাকে তাহা মূলের সাহায্যে মৃত্তিকা হইতে গ্রহণ করে। দ্য সসারের পরীক্ষালব্ধ সিদ্ধান্ত 1840 খৃষ্টাব্দে লিবিগ্ (Liebig) সমর্থন করেন। এর পরবর্তী পর্যায়ে স্যাক্স্ (Sachs) 1860 খৃষ্টাব্দে এবং নপ্ (Knop) 1860-65 খৃষ্টাব্দে জল ও বালু কর্ষণ পরীক্ষা দ্বারা (water and sand culture expt.) উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে বিভিন্ন মৌলের অপরিহার্যতার কথা উল্লেখ করেন।

স্যাক্স্ ও নপের কিঞ্চিৎ পরিবর্তিত মিশ্র লবণ দ্রবণ উদ্ভিদ পুষ্টি পরীক্ষায় আজও ব্যবহৃত হয়। স্যাক্স্ জল কর্ষণ পরীক্ষা দ্বারা উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে নাইট্রোজেন, ফস্‌ফরাস, সালফার, পটাশিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম ক্যালসিয়াম ও লৌহের অপরিহার্যতার কথা উল্লেখ করেন। ম্যাঙ্গানিজ মৌলের অপরিহার্যতার কথা সাল্ম হর্স্ট্‌মার (Salm Horstmar) 1851 খৃষ্টাব্দে সর্ব প্রথম ইঙ্গিত করিলেও 1922 খৃষ্টাব্দের পূর্বে তাহা সঠিকভাবে নিরূপিত হয় নাই। মাজে (Maze) 1914 খৃষ্টাব্দে দস্তা ও 1919 খৃষ্টাব্দে বোরণের অপরিহার্যতার কথাও উল্লেখ করেন।

উদ্ভিদের বিভিন্ন অপরিহার্য (essential) মৌলের মধ্যে কার্বন (C), হাইড্রোজেন (H), অক্সিজেন (O), নাইট্রোজেন (N), ফস্‌ফরাস (P), পটাশিয়াম (K), ক্যালসিয়াম (Ca), সালফার (S), ম্যাগনেশিয়াম (Mg) ও লৌহ (Fe)* এই দশটি একান্তভাবে আবশ্যকীয় মৌল অধিক মাত্রায় প্রয়োজন হওয়ায় উহাদের **অতিমাত্রিক মৌল** (macro elements) বলা হয়। উহাদের যে কোন একটির অভাবে উদ্ভিদ দেহের স্বাভাবিক বৃদ্ধি ব্যাহত হয় এবং অভাবজনিত লক্ষণ পরিলক্ষিত হয়।

উপরোক্ত মৌল ব্যতীত ম্যাঙ্গানিজ (Mn), বোরণ (B), দস্তা (Zn), তামা (Cu) এবং মলিব্‌ডেনাম (Mo) উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে স্বল্প পরিমাণে প্রয়োজন হওয়ায় উহাদিগকে **স্বল্পমাত্রিক মৌল** (micro elements or trace elements) বলা হয়।

উপরোক্ত অতিমাত্রিক ও স্বল্পমাত্রিক মৌলগুলি সমস্ত প্রকার উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে অপরিহার্য হইলেও সোডিয়াম (Na), আয়োডিন (I) সিলিকন (Si), অ্যালুমিনিয়াম (Al) প্রভৃতি মৌলগুলি বিশেষ বিশেষ উদ্ভিদের পক্ষে অপরিহার্য। যেমন, আর্টিপেক্স ভেসিক্যারিয়া (*Artiplex vesicaria*), হ্যালোজেটন গ্লোমেরাটাস (*Halogeton glomeratus*) এবং বীট, শালগম প্রভৃতি কতিপয় উদ্ভিদের সাধারণ বৃদ্ধিতে সোডিয়াম অপরিহার্য মৌলরূপে

* লৌহের অবস্থান খুবই বিতর্কের বিষয়। অনেকে মনে করেন যে লৌহ উদ্ভিদ বিপাকে খুব স্বল্প পরিমাণে প্রয়োজন হয় তাই তাহারা লৌহকে স্বল্পমাত্রিক মৌল (micro element) শ্রেণীতে রাখার পক্ষপাতী।

ব্যবহৃত হয়। ধান ও ইকুইজিটাম (*Equisetum*) নামক উদ্ভিদে প্রচুর পরিমাণে সিলিকন পাওয়া যায়। অন্যান্য উদ্ভিদে সিলিকনের উপস্থিতি পরিলক্ষিত হইলেও সমস্ত উদ্ভিদের বৃদ্ধিতে সিলিকনের অপরিহার্যতা স্বীকৃত হয় নাই। সিলিকনের ন্যায় অ্যালুমিনিয়াম, আয়োডিন (I), ভ্যানাডিয়াম (V) এবং সেলেনিয়াম (Se) প্রভৃতি মৌলগুলি বিশেষ বিশেষ উদ্ভিদে পরিলক্ষিত হইলেও তাহারা কোন ক্ষেত্রেই অপরিহার্য মৌলরূপে ব্যবহৃত হয় না। কোবাল্ট (Co) নীলাভ-সবুজ শৈবালে (blue-green algae) ও কতিপয় শিম্বি জাতীয় উদ্ভিদের নাইট্রোজেন সংবন্ধনে (fixation) এবং ব্যাক্‌টিরিয়ায় ভিটামিন B_{12} সংশ্লেষের জন্য প্রয়োজন। উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদে ভিটামিন B_{12} পাওয়া যায় বলিয়া অনেক বৈজ্ঞানিক কোবাল্টকে অপরিহার্য মৌল রূপে স্বীকার করেন। অনেকে মনে করেন আয়ণ-বিনিময় ও উদ্ভিদের জলমাত্রা সংরক্ষণের জন্য সোডিয়ামের প্রয়োজনীয়তা আছে।

আরণন্ (Arnon) এবং স্টাউট (Stout) 1939 খৃষ্টাব্দে উদ্ভিদে মৌলের অপরিহার্যতার বিচারের মান (criteria of essentiality) নির্ধারণ করেন। তাঁহাদের মতে মৌলের অপরিহার্যতা বিচারের তিনটি মাপকাঠি হইল,

(ক) উদ্ভিদের সাধারণ বৃদ্ধি ও জননে মৌলগুলি অপরিহার্য হইবে এবং ইহাদের অভাবে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও জনন সম্পূর্ণ হইবে না;

(খ) ইহাদের প্রয়োজনীয়তা বিশেষ ভাবে নির্দিষ্ট (specific)। অন্য কোন মৌল পুরাপুরি তাহাদের বিকল্প হইতে পারে না; এবং

(গ) মৌলগুলি উদ্ভিদের অভ্যন্তরে কার্যকর হইবে।

অপরিহার্য নয় এমন কতকগুলি সমধর্মিক অপরিহার্য মৌলের পরিবর্তে ব্যবহৃত হইয়া থাকে। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, পটাশিয়ামের পরিবর্তে সোডিয়াম, ক্যালসিয়ামের পরিবর্তে স্ট্রংসিয়াম এবং মলিব্‌ডেনামের পরিবর্তে ভ্যানাডিয়াম ব্যবহৃত হয়। অপরিহার্য মৌলগুলি একাধিক বিপাকীয় বিক্রিয়াতে সরাসরি কার্যকর হয়।

তালিকা ঃ 1. উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদে অপরিহার্য মৌলের তালিকা এবং কোষমধ্যে তাহাদের ঘনত্ব

মৌল	রাসায়নিক সংকেত	উদ্ভিদ দেহে প্রাপ্তিসাধ্য অবস্থা	শুষ্ককোষে ঘনত্ব (শতকরা)
অতিমাত্রিক মৌল (macro-elements)			
কার্বন	C	CO_2	45
অক্সিজেন	O	O_2, H_2O	45
হাইড্রোজেন	H	H_2O	6
নাইট্রোজেন	N	NO_3^-, NH_4^+	1·5
পটাশিয়াম	K	K^+	1·0
ক্যালসিয়াম	Ca	Ca^{++}	0·5
ম্যাগনেশিয়াম	Mg	Mg^{++}	0·2
ফস্‌ফরাস	P	$H_2PO_4^-$, $HPO_4^=$	0·2
সালফার	S	$SO_4^=$	0·1
লৌহ	Fe	Fe^{+++}, Fe^{++}	0·010
স্বল্পমাত্রিক মৌল (micro elements)			
ক্লোরিণ	Cl	Cl^-	0·010
ম্যাঙ্গানিজ	Mn	Mn^{++}	0·0050
বোরণ	B	$BO_3^=$, $B_4O_7^=$	0·0020
দস্তা	Zn	Zn^{++}	0·0020
তামা	Cu	Cu^+, Cu^{++}	0·0006
মলিব্‌ডেনাম	Mo	$MoO_4^=$	0·00001

মৌলের অপরিহার্যতা নির্ণয় পদ্ধতি ঃ মৌলের অপরিহার্যতা নির্ণয়ের জন্য উদ্ভিদ ভস্ম বিশ্লেষণ (ash analysis) এবং তরল ও বালু কর্ষণ (liquid and sand culture) পদ্ধতিগুলি কিঞ্চিৎ পরিমার্জিত ও উন্নত করিয়া বৈজ্ঞানিকেরা ব্যবহার করেন।

উদ্ভিদ ভস্ম বিশ্লেষণ (Plant ash analysis) ঃ উদ্ভিদ বা উদ্ভিদ অংশকে উচ্চ উষ্ণতায় (400°C) উত্তপ্ত করিলে যে ভস্ম (ash) পড়িয়া থাকে

তাহার বিশ্লেষণ উদ্ভিদের খনিজ মৌল শণাক্তকরণের নির্ভরযোগ্য পদ্ধতি। ভস্মে শুধুমাত্র খনিজ মৌল উপস্থিত থাকে। জৈব যৌগগুলি কার্বনডাই অক্সাইড, অ্যামনিয়া ও জলীয় বাষ্পে পরিণত হয়। সুতরাং জৈব যৌগ ব্যতীত মৃত্তিকা হইতে শোষিত বিভিন্ন খনিজ মৌল উদ্ভিদ ভস্মে উপস্থিত থাকে।

যদিও উদ্ভিদ ভস্ম বিশ্লেষণ পদ্ধতি উদ্ভিদের খনিজ মৌলের পরিমাণ নির্ধারণের একটি বহু ব্যবহৃত পদ্ধতি, ইহাতে একাধিক প্রয়োগগত ত্রুটি পরিলক্ষিত হয়। উদাহরণ স্বরূপ, উচ্চ উষ্ণতায় একাধিক মৌলের বাষ্পীভবন ও উর্দ্ধপাতনের কথা বলা যাইতে পারে। সাধারণতঃ ভস্মে মৌলগুলি বিশুদ্ধ অবস্থায় না থাকিয়া অক্সিজেনের যৌগ (oxides) রূপে উপস্থিত থাকে।

দ্রবণ কর্ষণ (Solution culture) বা **হাইড্রোপনিক কর্ষণ** (Hydroponic culture) : ঊনবিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগে স্যাক্স্ ও নপ্ (Sachs and Knop) উদ্ভিদ পুষ্টি পরীক্ষায় উদ্ভিদ বৃদ্ধির মাধ্যমটি যথাযথভাবে নির্ধারণের প্রয়োজনীয়তার কথা উল্লেখ করেন। সাধারণ ভাবে বিভিন্ন মৌলগুলি নানাবিধ রাসায়নিক বিন্যাসে মৃত্তিকা কণিকার সহিত যুক্ত থাকে। সুতরাং মৃত্তিকাস্থিত মৌলের অপরিহার্যতা নির্ণয় করা খুবই দুরুহ। স্যাক্স্ ও নপ্ একটি নির্দিষ্ট রাসায়নিক দ্রবণে উদ্ভিদকে রাখিয়া তাহাদের বৃদ্ধি পর্যবেক্ষণ করেন। অতঃপর ঐ রাসায়নিক দ্রবণে কোন একটি বিশেষ মৌল বাদ দিয়া তাহাতে উদ্ভিদ বৃদ্ধির পার্থক্য পর্যবেক্ষণ করেন। এই ভাবেই আজও উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে বিভিন্ন মৌলের অপরিহার্যতার কথা নির্ণয় করা হইয়া থাকে। উদ্ভিদের এই জাতীয় বৃদ্ধিকে **হাইড্রোপনিক কর্ষণ** (hydroponic culture) বলা হয়। পরবর্তী কালে স্টুয়ার্ড (Steward) উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে অক্সিজেনের প্রয়োজনীয়তার কথাও উল্লেখ করেন।

স্যাক্স্ ও নপ্ N, P, K, Ca, Mg, S প্রভৃতি পুষ্টিকারী (পোষক) মৌলের অপরিহার্যতা এবং উদ্ভিদ বৃদ্ধির জন্য পোষক দ্রবণে উহাদের সন্তোষজনক ঘনত্ব (পরম ঘনত্ব নয়) নিরুপণ করেন। 1865 খৃষ্টাব্দে নপ্ নিরূপিত কর্ষণ দ্রবণ ও আধুনিক কালে (1940) বহুল প্রচলিত হোগল্যাণ্ড ও আরণন (Hoagland and Arnon) দ্রবণের তুলনামূলক পরিচয় নিম্নে তালিকায় দেখানো হইল।

তালিকা : 2. নপ ও হোগল্যাণ্ড-আরণনের পুষ্টি দ্রবণের তুলনা

নপের দ্রবণ		হোগল্যাণ্ড ও আরণনের দ্রবণ	
লবণ	মি. গ্রাম/লিটার	লবণ	মি. গ্রাম/লিটার
$Ca(No_3)$, $4H_2O$	800	KNO_3	1020
KNO_3	200	$Ca(NO_3)$	490
KH_2PO_4	200	$MgSO_4$, 7 H_2O	490
$MgSO_4$, 7 H_2O	200	$(NH_4)H_2PO_4$	230
$FePO_4$	অত্যাল্প (trace)	H_3BO_3	2·86
		$MnCl_2$, 4 H_2O	1·80
		$CuSO_4$, 5 H_2O	0·08
		$ZnSO_4$, 7 H_2O	0·22
		H_2MoO_4, H_2O	0·09
		0·5% $FeSO_4$, 7 H_2O	0·60 ml/litre
		0·4% Tartaric acid	0·60 ml/litre

উপোরক্ত দ্রবণগুলি অধিকাংশ উদ্ভিদ বৃদ্ধির পক্ষে উপযোগী। বিংশ শতাব্দীর প্রারম্ভে বিজ্ঞানের উন্নতির সঙ্গে সঙ্গে বৈজ্ঞানিকেরা উদ্ভিদ পুষ্টির দিকে মনোনিবেশ করেন। মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের রাট্‌গার্স বিশ্ববিদ্যালয়ের সিভ্ (Shive), রবিণস্ (Robbins) এবং হোগল্যাণ্ড (Hoagland) ; ক্যালিফর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের আরণন (Arnon), স্টাউট (Stout) প্রভৃতি এবং ইংল্যাণ্ডের হেইউট (Hewitt), স্যাক্স্ ও নপের কর্ষণ দ্রবণের মিশ্রণ পরিবর্তন করেন এবং নূতন কতিপয় মৌলের অপরিহার্যতার কথাও উল্লেখ করেন।

দ্রবণ কর্ষণ পরীক্ষায় পুষ্টি মাধ্যমের ধরন জানা সম্ভব হইলেও এই পদ্ধতির কতিপয় অসুবিধা পরিলক্ষিত হয়। পূর্বে উল্লিখিত বাতান্বয়নের (aeration) প্রয়োজনীয়তা ছাড়াও, কতিপয় আয়ণ দ্রুত শোষিত হওয়ায় প্রতিদিন (অথবা কিছুদিন অন্তর) দ্রবণটি বদল করা প্রয়োজন। তা ছাড়া এই ধরণের শোষণে দ্রবণের pH পরিবর্তিত হয়। উদাহরণ স্বরূপ নাইট্রেট আয়ণ অধিক শোষিত হইলে উদ্ভিদ হইতে বাইকার্বনেট বা হাইড্রক্সিল আয়ণ অধিক নিঃসৃত

হয়। অ্যামনিয়াম (NH_4^+) ও সালফেটের ($SO_4^=$) অসম শোষণের ফলে pH-এর মান বৃদ্ধি পায়। pH বৃদ্ধির ফলে লৌহ, দস্তা প্রভৃতি মৌলের দ্রাব্যতা ও শোষণ হ্রাস পায়। শৈবালের বৃদ্ধি প্রতিরোধ করিবার জন্য হাইড্রোপনিক দ্রবণকে সর্বদা কালো কাগজ বা কাপড় দ্বারা আবৃত করিয়া রাখিতে হয়।

বালু কর্ষণ (Sand culture)ঃ হাইড্রোপনিক দ্রবণ কর্ষণের কয়েকটি অসুবিধাজনক পরিস্থিতি এড়াইবার জন্য বৈজ্ঞানিকেরা ধৌত স্ফটিক বালু (quartz sand) মাধ্যমে একাধিক কর্ষণ পরীক্ষার উদ্ভব করেন। ধৌত বা স্ফটিক বালু সাধারণতঃ নিষ্ক্রিয়। বালু কর্ষণ পদ্ধতিতে উদ্ভিদের অবলম্বন, মূলের বাতান্বিতা (aeration) এবং দ্রবণকে অন্ধকার রাখার প্রয়োজনীয়তার সমস্যা থাকে না এবং মূল প্রাকৃতিক মাধ্যমে থাকে। উদ্ভিদের স্বল্পমাত্রিক পুষ্টির ক্ষেত্রে এই পদ্ধতির বিশেষ অসুবিধা হইল যে, ধৌত বা স্ফটিক বালুতে স্বল্প পরিমাণ অপরিহার্য মৌল সংযুক্ত থাকিতে পারে।

বালু কর্ষণ পরীক্ষায় পুষ্টি দ্রবণগুলি তিনটি বিভিন্ন পদ্ধতিতে ব্যবহার করা হয়। কোন কোন ক্ষেত্রে দ্রবণগুলি বালুর উপর ঢালিয়া (pouring) দেওয়া হয়, কখনও বা দ্রবণগুলি নির্দিষ্ট হারে ফোঁটায় ফোঁটায় (driping) বালুর উপর দেওয়া হয়, আবার কখনও নিম্ন হইতে উপসেচন (sub-irrigation) পদ্ধতিতে দ্রবণগুলি দেওয়ার ব্যবস্থা করা হয়। উপরোক্ত বিভিন্ন পদ্ধতিগুলিতে পুষ্টিকারী দ্রবণগুলি নিম্নে নিঃসৃত হয় কিন্তু উপসেচন পদ্ধতিতে দ্রবণগুলি নিচের আধারে সঞ্চিত হয় এবং পাম্প করিয়া পুনরায় ব্যবহার করা হইয়া থাকে। উপসেচন পদ্ধতিটি প্রাথমিক অবস্থায় ব্যয়সাধ্য হইলেও তিনটি পদ্ধতির মধ্যে এই পদ্ধতিটি বিশেষ সুবিধাজনক।

উদ্ভিদ খনিজ মৌলের সাধারণ ভূমিকা (General roles of the mineral elements)ঃ খনিজ মৌলগুলি কেবলমাত্র আয়ণীত অবস্থায় অথবা জৈব অণুর অংশ রূপে অবস্থানকালে উদ্ভিদ জীবনে প্রয়োজনীয় ভূমিকা গ্রহণ করে। সাধারণ ভাবে খনিজ মৌলগুলি উদ্ভিদ দেহে একাধিক বিভিন্ন কার্য সম্পন্ন করে।

(ক) **প্রোটোপ্লাসম ও কোষ প্রাচীরের গঠনকারী কার্য**ঃ বিভিন্ন খনিজ মৌলের মধ্যে সালফার (গন্ধক) প্রোটীনের, ফস্‌ফরাস নিউক্লিও-প্রোটীন ও অ্যাডিনোসিন ফস্‌ফেটের, ম্যাগনেশিয়াম ক্লোরোফিলের এবং

ক্যালসিয়াম ক্যালসিয়াম পেকটেটের অখণ্ড উপাদান রূপে ব্যবহৃত হয়। সুতরাং একাধিক খনিজ মৌল প্রোটোপ্লাসম ও কোষ প্রাচীর গঠনকারী অণুর অখণ্ড উপাদান রূপে ব্যবহৃত হয়।

(খ) **উদ্ভিদ কোষের অভিস্রবণীয় চাপের উপর প্রভাব :** উদ্ভিদের কোষ রসের অভিস্রবণীয় চাপের (osmotic pressure) একাংশ কোষের দ্রবণীয় খনিজ লবণের উপর নির্ভরশীল। অধিকাংশ উদ্ভিদ কোষ রসে খনিজ লবণের ঘনত্ব এত স্বল্প যে অভিস্রবণীয় চাপ দ্বারা তাহাদের উপস্থিতি নির্ণীত হয়।

(গ) **কোষ-অম্লতা এবং বাফার কার্য :** মৃত্তিকা হইতে শোষিত অধিকাংশ খনিজ লবণ কোষ রসের pH-কে প্রভাবান্বিত করে। এদের ক্ষমতা জৈব অ্যাসিড বা অন্যান্য যৌগ অপেক্ষা অনেকাংশে কম। উদ্ভিদের ফস্‌ফেট-কার্বনেট বাফার তন্ত্র (buffer system) পরিবেশ হইতে শোষিত মৌল হইতে প্রস্তুত হয়। বাফার ক্রিয়ার জন্য ক্যাটায়ন অংশটি হাইড্রোজেন (H^+) ব্যতীত পটাশিয়াম, ক্যালসিয়াম, সোডিয়াম এবং ম্যাগনেশিয়াম আয়ণগুলি ব্যবহার করে।

(ঘ) **সাইটোপ্লাসমীয় পর্দার ভেদ্যতার উপর প্রভাব :** সাইটোপ্লাসমীয় পর্দার ভেদ্যতা ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন পরিবেশের উপর অনেকাংশে নির্ভরশীল। যেমন, ক্যালসিয়াম্ এবং অন্যান্য দ্বিযোজী ও ত্রিযোজী ক্যাটায়নগুলি সাইটোপ্লাসমীয় পর্দার ভেদ্যতা হ্রাস করে ; অপরপক্ষে একযোজী ক্যাটায়নগুলি কোষ পর্দার ভেদ্যতা বৃদ্ধি করে।

(ঙ) **খনিজ মৌলের বিষবৎ ফল :** অ্যালুমিনিয়াম, আরসেনিক, পারদ, সেলেনিয়াম প্রভৃতি মৌল কোন বিশেষ অবস্থায় বিষবৎ ক্রিয়া করে। উদ্ভিদের অপরিহার্য মৌলগুলিও শারীরবৃত্তীয় প্রয়োজনের অধিকতর ঘনত্বে বিষবৎ কার্য করে। একাধিক খনিজ মৌল স্বল্প ঘনত্বেও প্রোটোপ্লাসমের উপর বিষবৎ কার্য করিয়া থাকে। অনেক ক্ষেত্রে মৌলগুলি প্রোটোপ্লাসমের মৌলিক গঠনে বৈকল্য আনিয়া কোষের মৃত্যু ঘটায়।

(চ) **খনিজ মৌলের প্রতিদ্বন্দ্বিতামূলক ফল :** কোন আয়ণ বা লবণ অন্য কোন আয়ণ বা লবণের সাধারণ কার্যকে বাধা প্রদান করিলে তাহাকে প্রতিদ্বন্দ্বিতামূলক (antagonistic) ফল বলা হয়। একাধিক খনিজ মৌলের প্রতিদ্বন্দ্বিতামূলক পরিস্থিতি পরিলক্ষিত হয়। উদাহরণ স্বরূপ সোডিয়াম

ক্লোরাইড (NaCl) সাইটোপ্লাসমীয় পর্দার ভেদ্যতা বৃদ্ধি করে ; কিন্তু ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের ($CaCl_2$) উপস্থিতিতে তাহা ব্যাহত হয়।

(ছ) **অনুঘটক তন্ত্রে খনিজ মৌলের প্রভাব :** একাধিক খনিজ মৌল অনুঘটক তন্ত্রে অংশ গ্রহণ করে। লৌহ, তামা ও দস্তা উৎসেচকের প্রস্থেটিক বর্গরূপে কার্য করে। আবার ম্যাঙ্গানিজ, ম্যাগনেশিয়াম ও কোবাল্ট একাধিক উৎসেচক বিক্রিয়ায় সক্রিয়ক বা প্রতিরোধক রূপে কার্য করে। উদাহরণ স্বরূপ ম্যাঙ্গানিজ আর্জিনেজ, ডাইপেপটাইডেজ, ম্যাগনেশিয়াম ফস্‌ফেটেজ, কাইনেজ, কোবাল্ট আর্জিনেজ ও পেপটাইডেজ প্রভৃতি উৎসেচকের সক্রিয়ক রূপে কার্য করে।

বিভিন্ন খনিজ মৌলের ভূমিকা ও অভাবজনিত লক্ষণ (Role of mineral elements and symptoms of deficiencies) : কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন মৌলগুলির আপেক্ষিক প্রয়োজনীয়তা ও ইহাদের বিপাকীয় ভূমিকা ৭ম, ৮ম ও ৯ম অধ্যায়ে বিশদ ভাবে আলোচিত হইবে। অবশিষ্ট মৌলগুলির ভূমিকা এই অধ্যায়ে বিশদভাবে আলোচিত হইল।

অপরিহার্য মৌলগুলির অনুপস্থিতিতে উদ্ভিদদেহে বৈশিষ্ট্যমূলক অভাবজনিত লক্ষণ (deficiency symptoms) পরিলক্ষিত হয়। অভাবজনিত লক্ষণগুলি উদ্ভিদ দেহে ঐ সমস্ত মৌলগুলির সামগ্রিক কার্যকলাপ নির্ণয় করিতে সাহায্য করে। উপরন্তু কৃষকেরা কখন জমিতে কোন সার কতটুকু প্রয়োগ করিবেন তাহা তাঁহারা উদ্ভিদের অভাবজনিত লক্ষণ হইতেই অনুমান করিতে পারেন ; সুতরাং এ ক্ষেত্রে উদ্ভিদের অভাবজনিত লক্ষণের একটি ব্যবহারিক গুরুত্ব বর্তমান। অধিকাংশ অভাবজনিত লক্ষণ উদ্ভিদের বিটপ (shoot) অংশে বিদ্যমান। উদ্ভিদের মূল অংশও খনিজ মৌলের অভাবে প্রভাবান্বিত হয়। হাইড্রোপনিক পদ্ধতি ব্যতীত মূলের অভাবজনিত লক্ষণ সাধারণ ভাবে পরিলক্ষিত হয় না বলিয়া মূলের অভাবজনিত লক্ষণ বিশদ্‌ভাবে আলোচিত হয় নাই।

ক. **অতিমাত্রিক মৌল** (Macro elements) :

1. **নাইট্রোজেন** (Nitrogen) : অধিকাংশক্ষেত্রে উদ্ভিদ নাইট্রোজেনকে মৃত্তিকা হইতে নাইট্রেট অথবা অ্যামনিয়াম্ অবস্থায় শোষণ করে। উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও বিপাকে নাইট্রোজেন মৌলের অপরিহার্যতার কথা বিশদ্‌ভাবে পরীক্ষিত হইয়াছে। উদ্ভিদের একাধিক জৈব যৌগ নাইট্রোজেন সমন্বিত। পিউরিন

(purines), খাদ্যপ্রাণ (vitamins) এবং উপক্ষার (alkaloids) নাইট্রোজেন সমন্বিত যৌগ। উদ্ভিদের বৃদ্ধি, বিপাক এবং উত্তরাধিকারসূত্রে প্রাপ্তিসাধ্য চারিত্রিক বৈশিষ্ট্য স্থানান্তরনের অপরিহার্য পদার্থ, প্রোটীন ও নিউক্লিক অ্যাসিড প্রভৃতি পদার্থগুলিও নাইট্রোজেন যুক্ত। নাইট্রোজেন মৌলের অপরিহার্যের কথা নবম অধ্যায়ে বিশদ্‌ভাবে আলোচিত হইবে।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms): নাইট্রোজেনের অভাবে উদ্ভিদ পত্র পিঙ্গলবর্ণ ধারণ করে। মৌলের অভাবে উদ্ভিদের এই উপরোক্ত লক্ষণকে **ক্লোরোসিস** (chlorosis) বলা হয়। উদ্ভিদের সাধারণ বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। উদ্ভিদের বিলম্বে পুষ্প প্রস্ফুটনও অপর একটি অভাবজনিত লক্ষণ। পশ্চিমবঙ্গে মৃত্তিকায় নাইট্রোজেনের অভাব বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়। পশ্চিমবঙ্গের মৃত্তিকায় বৎসরে 84000 হাজার টন নাইট্রোজেন সার ব্যবহৃত হয়। নাইট্রোজেন সারের মধ্যে অ্যামনিয়াম সালফেট $[NH_4)_2SO_4]$ ও ইউরিয়ার $[CO(NH_2)_2]$ প্রয়োগ অধিক প্রচলিত।

2. **ফস্‌ফরাস** (Phosphorus): অধিকাংশ উদ্ভিদ মৃত্তিকা দ্রবণ হইতে ফস্‌ফেট আয়ণ রূপে ($H_2PO_4^-$ বা $H_2PO_4=$) ফস্‌ফরাস্‌ শোষণ করে। নাইট্রোজেন ও সালফারের ন্যায় বিজারিত অবস্থায় না থাকিয়া ফস্‌ফরাস কোষে জারিত অবস্থায় জৈব যৌগের সহিত মিলিত হয়। ফস্‌ফরাস ফসফোলিপিড, নিউক্লিওটাইড, নিউক্লিক অ্যাসিড প্রভৃতি সংগঠনে ব্যবহৃত হয়। ফস্‌ফেট বাহক, ফস্‌ফোরাইলেশন এবং ফস্‌ফেট বন্ধনীর শক্তি সম্বন্ধে পরবর্তী অধ্যায়গুলিতে আলোচিত হইবে। ফস্‌ফেট প্রাণী ও উদ্ভিদ দেহে উপরোক্ত বিক্রিয়াগুলিতে প্রধান ভূমিকা গ্রহণ করে। পরিপক্ক উদ্ভিদে ফল ও বীজ প্রস্তুতির সময় অধিকমাত্রায় ফস্‌ফরাস সঞ্চিত হয়।

উদ্ভিদ বিপাকে ফস্‌ফরাস ও নাইট্রোজেন মৌলের ভূমিকা বিশেষ সম্পর্কযুক্ত। প্রাপ্তিসাধ্য ফস্‌ফরাসের পরিমাণ হ্রাস পাইলে অজৈব নাইট্রোজেন যৌগগুলি উদ্ভিদ কোষে অধিকমাত্রায় শোষিত ও সঞ্চিত হয়। ফস্‌ফরাস-অভাবগ্রস্ত উদ্ভিদে প্রোটীন সংশ্লেষ ব্যাহত হয়। প্রোটীন সংশ্লেষ ব্যাহত হওয়ায় উদ্ভিদের অঙ্গজ অঙ্গে অধিক মাত্রায় শর্করা সঞ্চিত হয়। এই শর্করা অ্যান্থোসায়াণিন সংশ্লেষে ব্যবহৃত হয়, তাই ফস্‌ফরাসের অভাবে উদ্ভিদ পাতা নীল-বেগুনি বর্ণ ধারণ করে।

ফস্‌ফরাস ফস্‌ফেট রূপে উদ্ভিদের একটি অঙ্গ হইতে অপর অঙ্গে স্থানান্তরিত

হয়। তেজস্ক্রিয় ফস্‌ফরাস (32P) দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে মূলের চতুস্পার্শে ফস্‌ফরাসের অভাব ঘটিলে উদ্ভিদের ভাজক কলা ও পত্র হইতে ফস্‌ফরাসের স্থানান্তরণ ঘটে।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms) ঃ অনেকে মনে করেন যে ফস্‌ফরাসের অভাব ঘটিলে পত্র হইতে ফস্‌ফরাসের স্থানান্তরণ হয় বলিয়াই ফস্‌ফরাসের অভাবজনিত লক্ষণ সর্বপ্রথম পাতায় পরিলক্ষিত হয়। অভাবজনিত লক্ষণের মধ্যে পাতায় অধিকমাত্রায় অ্যান্থোসায়ানিন রঞ্জক পদার্থ সঞ্চিত হয়। ফস্‌ফরাসের অভাবে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ব্যাহত হয় (stunted growth)। ফস্‌ফরাসের অভাবের ফলে পরিপক্কতা বিলম্বিত হয়, অপর পক্ষে অধিক ফস্‌ফরাসের উপস্থিতিতে উদ্ভিদের পরিপক্কতা ত্বরান্বিত হয়।

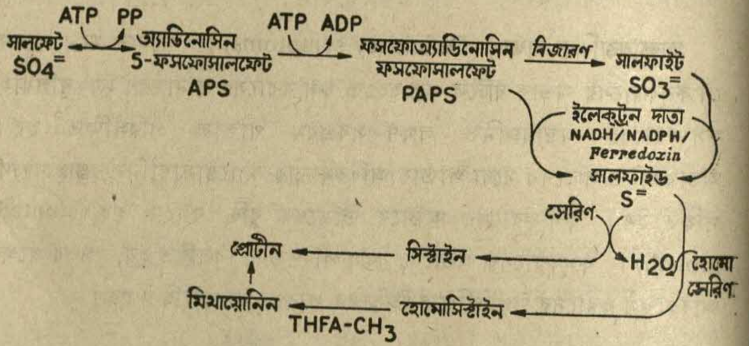
উদ্ভিদের সাধারণ বৃদ্ধির জন্য ফস্‌ফেট ঘটিত সার প্রয়োগ বিশেষ প্রয়োজনীয়। ফস্‌ফেট ঘটিত সারের মধ্যে সুপার ফস্‌ফেট (superphosphate) এবং হাড়ের গুড়া (bone meal) বিশেষ ভাবে ব্যবহৃত হয়। অ্যাসিড মৃত্তিকার জন্য ডাইক্যালসিয়াম ফসফেট ($CaHPO_4$) এবং রক্‌ফস্‌ফেট উপযুক্ত বলিয়া বিবেচনা করা হইয়া থাকে। পশ্চিমবঙ্গের মৃত্তিকায় বৎসরে 21,000 টন ফস্‌ফেট ঘটিত সার ব্যবহৃত হয়।

3. **সালফার** (Sulphur) ঃ সালফার মৃত্তিকায় জৈব যৌগ ও পাইরাইট (pyrite), কোবালটাইট (cobaltite), জিপসাম (gypsum) এবং এপসোমাইট (epsomite) প্রভৃতি খনিজ পদার্থে বর্তমান। উদ্ভিদ মৃত্তিকা হইতে সাল্‌ফেট (SO_4 =) আয়ণ রূপে শোষিত হয়।

জৈব সালফার জৈবিক জারণের ফলে উদ্ভিদের গ্রহণ যোগ্য হয়। মৃত্তিকাস্থিত জীবাণু দ্বারা জৈব সালফার সালফেট আয়ণে রূপান্তরিত হইয়া উদ্ভিদ কর্তৃক শোষিত হয় (সালফার জারণ পদ্ধতির বিশদ আলোচনা সপ্তম অধ্যায়ে আলোচিত হইবে)।

মৃত্তিকাস্থিত সালফার শোষিত হইবার পর স্বল্প পরিমাণ মূলে ব্যবহৃত হইলেও অধিকাংশ সাল্‌ফার অপরিবর্তিত অবস্থায় উদ্ভিদ বিটপে স্থানান্তরিত হয়। উদ্ভিদ পত্রে সাল্‌ফেট আয়ণে বিজারিত হয়। সাল্‌ফেট বিজারণের প্রথম পর্যায়ে সাল্‌ফেট ATP-র সহিত যুক্ত হইয়া অ্যাডিনোসিন-5-

ফসফোসালফেট এবং পাইরোফসফেট প্রস্তুত হয়। সাল্‌ফেট বিজারণ পদ্ধতিটি নিম্নে দেখানো হইল।



চিত্র 1 : সাল্‌ফেট (SO_4=) হইতে সিস্টাইন ও মিথায়োনিন প্রস্তুত প্রণালীর বিক্রিয়া সমূহ। THFA = ট্রেটা হাইড্রো ফোলিক অ্যাসিড নামক সহ উৎসেচক।

সাল্‌ফেট বিজারিত হইয়া সালফারযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড (সিষ্টাইন ও মিথায়োনিন) প্রস্তুত হয় (রৈখিক চিত্র 1)। সিষ্টাইন, মিথায়োনিন প্রভৃতি সালফার সমন্বিত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি উদ্ভিদের গঠন ও কার্যের অপরিহার্য প্রোটীন প্রস্তুত করে (চিত্র 1)। শ্বসনে অপরিহার্য কোএনজাইম-A এবং থায়ামিন ও বাওটিন জাতীয় খাদ্যপ্রাণ সালফার সমন্বিত যৌগ। পেঁয়াজ, রসুন ও সরিষার বিশেষ স্বাদ ও গন্ধ সিনিগ্রিন (sinigrin) নামক সালফার যুক্ত গ্লাইকোসাইডের উপস্থিতির জন্য ঘটিয়া থাকে।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms) : মৃত্তিকায় সাধারণতঃ অধিক পরিমাণ সালফেট আয়ন উপস্থিত থাকায় কৃষিক্ষেত্রে সালফারের অভাবজনিত লক্ষণ বিশেষ পরিলক্ষিত হয় না। সালফার মূল হইতে সর্বাগ্রে তরুণ পত্রে সঞ্চিত হয়। সালফারের অভাবে উদ্ভিদ পত্র সাধারণ ভাবে পিঙ্গলবর্ণ ধারণ করে। সালফারের অভাব সর্বপ্রথম তরুণ পত্রে পরিলক্ষিত হয় ; যদিও অনেক ক্ষেত্রে সমগ্র পত্র প্রায় একই সঙ্গে পিঙ্গলবর্ণ ধারণ করে। সালফার অ্যামাইনো অ্যাসিড ও প্রোটীন সংশ্লেষে প্রয়োজনীয় ভূমিকা গ্রহণ

করে বলিয়া উহাদের অনুপস্থিতিতে অভাবজনিত লক্ষণ সাধারণ ভাবে নাইট্রোজেন অভাবজনিত লক্ষণের অনুরূপ।

সাধারণতঃ অ্যামনিয়াম সালফেট $(NH_4)_2SO_4$ প্রয়োগ করিয়া মৃত্তিকায় সালফারের অভাব পূরণ করা হয়।

4. **পটাশিয়াম** (Potassium)ঃ মৃত্তিকায় পটাশিয়াম অবিনিমেয় (non exchangable), স্থির (fixed), এবং বিনিমেয় (exchangable) রূপে বর্তমান থাকে। অবিনিমেয় পটাশিয়াম উদ্ভিদ কর্তৃক শোষিত হয় না; একমাত্র স্থির পটাশিয়াম আয়ণই উদ্ভিদ কর্তৃক শোষিত হয়।

উদ্ভিদের তরুণ ও সক্রিয় বর্দ্ধিষ্ণু অঞ্চলে অধিক পরিমাণে পটাশিয়াম সঞ্চিত থাকে। সালফার ও ফসফরাসের ন্যায় পটাশিয়াম উদ্ভিদ কোষের কোন বিশেষ কোষস্থ বস্তু প্রস্তুত করিতে বিশেষ প্রয়োজনীয় ও বীজ ও পরিপক্ক কোষে ইহার পরিমাণ খুব স্বল্প।

উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে পটাশিয়ামের প্রয়োজন বিশেষ ভাবে পরিলক্ষিত হয়। পটাশিয়াম একাধিক উৎসেচকের সহউৎসেচকে বা সক্রিয়ক রূপে কার্য করে। এ ক্ষেত্রে পটাশিয়াম আয়ণ উৎসেচকের সহিত কঠিন ভাবে সংযুক্ত হইয়া উৎসেচকের অণুঘটক কার্যকে ত্বরান্বিত করে। শ্বসনে পাইরুভেট কাইনেজ ও ফসফেট স্থানান্তরণের উৎসেচকগুলি পটাশিয়ামের উপস্থিতিতে বিশেষ কার্যকর বলিয়া পটাশিয়ামের উপস্থিতিতে শ্বসন হার বৃদ্ধি পায়। প্রোটীন সংশ্লেষকালে পটাশিয়ামের উপস্থিতি অপরিহার্য হইলেও তাহাদের সঠিক ভূমিকা অজ্ঞাত।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms)ঃ নাইট্রোজেন ও ফসফরাসের ন্যায় পটাশিয়াম অতি সহজেই পরিপক্ক অঙ্গ হইতে তরুণ অঙ্গে স্থানান্তরিত হয় বলিয়া পটাশিয়ামের অভাবজনিত লক্ষণ সর্বপ্রথম পরিপক্ক অঙ্গে পরিলক্ষিত হয়। দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদপত্র পটাশিয়ামের অভাবে নিক্ষিপ্ত-ভাবে পিঙ্গলবর্ণ ধারণ করে এবং পচনযুক্ত ব্যাধি সৃষ্টি করে। এক বীজপত্রী উদ্ভিদের ক্ষেত্রে পত্রের অগ্রস্থ ও প্রান্তীয় কোষগুলির সর্বপ্রথম মৃত্যু ঘটে এবং পরবর্তী পর্যায়ে পত্রের নিম্নাংশে ক্রমশ পচন রূপ ব্যাধির সৃষ্টি হয়। পটাশিয়ামের অভাবে ভূট্টা, ধান প্রভৃতি ফসলী উদ্ভিদের কাণ্ড খুব দুর্বল হয় এবং মূলগুলি পচনকারী জীবাণুর দ্বারা আক্রান্ত হয়; ফলে পটাশিয়ামের অভাবে উদ্ভিদগুলি অতি সহজেই ভূমিতে লুটাইয়া পড়ে (lodged)।

সুতরাং ধান প্রভৃতি উদ্ভিদের লুটাইয়া পড়াকে পটাশিয়াম প্রয়োগ করিয়া রোধ করা সম্ভব। পটাশিয়ামের অভাবে শ্বসন হার বৃদ্ধি পায়।

পশ্চিমবঙ্গের মৃত্তিকায় বৎসরে 21,300 টন পটাশিয়াম সার প্রয়োগ করা হইয়া থাকে। এই সার সাধারণতঃ মিউরিয়েট অব পটাশ (muriate of potash) এবং সালফেট অব পটাশ রূপে মৃত্তিকায় প্রয়োগ করা হয়। পটাশিয়ামের উপরোক্ত লবণগুলি প্রশমিত বলিয়া মৃত্তিকার অম্লতা ও ক্ষারতা বৃদ্ধি করে না।

5. **ম্যাগনেশিয়াম** (Magnesuim) ঃ মৃত্তিকায় ম্যাগনেশিয়াম জলে দ্রবণীয়, বিনিময় ও স্থির রূপে বর্তমান থাকে। ক্যালসিয়ামের ন্যায় ইহা একটি বিনিময় ক্যাটায়ন। একাধিক আবহ (weathering) পদ্ধতিতে ম্যাগনেশিয়াম সিলিকেট ম্যাগনেশিয়ামকে মুক্ত করে এবং মৃত্তিকায় ম্যাগনেশিয়ামের পরিমাণ বৃদ্ধি করে।

ম্যাগনেশিয়াম উদ্ভিদে দুইটি বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে। ম্যাগনেশিয়াম ক্লোরোফিল অণুর একটি উপাদান সুতরাং ক্লোরোফিল সংশ্লেষে ইহার বিশেষ প্রয়োজন পরিলক্ষিত হয়। ম্যাগনেশিয়াম কার্বক্সিরাইলেজ, কাইনেজ প্রভৃতি উৎসেচকের কার্যকারিতাকে সক্রিয় করে। ম্যাগনেশিয়াম ATP-র সহিত যুক্ত হইয়া বন্ধনী ভাঙ্গনে সহায়তা করে। রাইবোসোম ইত্যাদি কোষস্থ অঙ্গ গঠন ও রক্ষা করাও ম্যাগনেশিয়ামের অপর একটি কার্য। উদ্ভিদের ফস্‌ফেট বিপাক এবং শ্বসনেও ম্যাগনেশিয়ামের ভূমিকার কথা উল্লেখ করা হইয়া থাকে।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms) ঃ ম্যাগনেশিয়ামের অভাবে **ক্লোরোসিস** (chlorosis) নামক রোগ পরিলক্ষিত হয়। ক্লোরোসিস রোগটি সর্বপ্রথম পরিপক্ক পত্রে পরিলক্ষিত হয়। ম্যাগনেশিয়ামের অভাবে অ্যান্থোসায়ানিন রঞ্জক পদার্থের উপস্থিতি এবং পচন চিহ্ন (necrotic spot) প্রকটভাবে পরিলক্ষিত হয়।

6. **ক্যালসিয়াম** (Calcium) ঃ উর্বর মৃত্তিকায় ক্যালসিয়াম একটি প্রধান বিনিময় ক্যাটায়ন। কিন্তু মৃত্তিকার অধিকাংশ ক্যালসিয়াম অবিনিময় ও খনিজ পদার্থের সহিত রাসায়নিক বন্ধনে আবদ্ধ থাকে। নানাবিধ আবহ (weathering) পদ্ধতিতে সেই ক্যালসিয়াম গ্রহণযোগ্য হয়।

মৃত্তিকায় অধিকাংশ ক্যালসিয়াম মৃত্তিকা কণিকায় পৃষ্ঠলগ্ন (adsorbed) অবস্থায় বর্তমান। মৃত্তিকা কণিকার গাত্র ঋণাত্মক (–) আধানযুক্ত হওয়ায় হাইড্রোজেন (H^+) ও ক্যালসিয়াম (Ca^{++}) ক্যাটায়নগুলিকে গভীরভাবে আকৃষ্ট করে। এমতবস্থায় হাইড্রোজেন আয়ণের ঘনত্ব বৃদ্ধি পাইলে, ক্যালসিয়াম আয়ণগুলি মুক্ত হয় এবং সেই স্থানে হাইড্রোজেন আয়ণ প্রতিস্থাপিত হয়। এই পদ্ধতিকে **ক্যাটায়ন বিনিময়** (cation exchange) বলা হয়। সোডিয়াম (Na^+), পটাশিয়াম (K^+), ম্যাগনেশিয়াম (Mg^{++}) প্রভৃতি আয়ণগুলি মৃত্তিকার পৃষ্ঠলগ্ন অবস্থায় থাকিলেও ক্যালসিয়াম এই পরিপ্রেক্ষিতে সর্বাপেক্ষা সক্রিয়।

মৃত্তিকায় বিনিমেয় ধাতব ক্যাটায়ন স্বল্প থাকিলে এবং বিনিমেয় হাইড্রোজেন আয়ণ অধিক থাকিলে সেই মৃত্তিকাকে আম্লিক মৃত্তিকা (acidic soil) বলা হয়। ক্যালসিয়াম বা ম্যাগনেশিয়াম আয়ণ যোগে মৃত্তিকার আম্লিক অবস্থার উপশম ঘটে এবং মৃত্তিকায় অপরিহার্য মৌলের অভাব দূর হয়। মৃত্তিকায় (pH নিয়ন্ত্রণ করিবার সর্বাপেক্ষা সক্রিয় এবং স্বল্পব্যয় সাপেক্ষ পদ্ধতি হইল মৃত্তিকায় চুণ প্রয়োগ করা) চুণ [অর্থাৎ ক্যালসিয়াম অক্সাইড (CaO) এবং ক্যালসিয়াম কার্বনেট ($CaCO_3$)] প্রয়োগে মৃত্তিকার হাইড্রোজেন ক্যালসিয়ামদ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়। সুতরাং চুণ প্রয়োগে pH বৃদ্ধি এবং বিনিমেয় ক্যালসিয়াম আয়ণের বৃদ্ধি ঘটে। চুণ প্রয়োগে মৃত্তিকার উপকারিতা হইলেও অধিক চুণ প্রয়োগে মৃত্তিকার pH 7-এর অধিক বৃদ্ধি পায় ; ফলে ম্যাগনেশিয়াম, লৌহ, দস্তা, তামা বোরণ প্রভৃতি মৌল গ্রহণযোগ্য হয় না। অপরপক্ষে অধিক চুণ প্রয়োগে ক্যালসিয়াম ও ফস্‌ফেটের মিলনে ক্যালসিয়াম ফস্‌ফেট লবণ প্রস্তুত হয়, ফলে ক্যালসিয়াম ও ফস্‌ফেটের গ্রহণযোগ্য অবস্থার অবনতি ঘটে।

ক্যালসিয়ামের প্রধান ভূমিকা হইল ইহা পেকটিক অ্যাসিডের সহিত যুক্ত হইয়া ক্যালসিয়াম পেক্‌টেট নামক অদ্রবণীয় কোষপ্রাচীর উপাদান প্রস্তুত করে। উদ্ভিদের প্রয়োজনীয় প্রায় শতকরা 70 ভাগ ক্যালসিয়াম কোষ প্রাচীর প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। কোষ গহ্বরে ক্যালসিয়াম ক্যালসিয়াম-অক্সালেট এবং ক্যালসিয়াম কার্বনেট নামক অদ্রবণীয় সূক্ষ্ম কেলাসে উপস্থিত থাকে। কোষ বিভাজনের সময় কোষ পাত্ বা মধ্য ল্যামেলা (middle lamella) দ্বারা দুইটি কোষ পৃথক থাকে। এই কোষ পাত্ পেকটিক পদার্থ দ্বারা প্রস্তুত।

সুতরাং কোষ বিভাজনের সময় কোষ পাত্ সৃষ্টি এবং সুদৃঢ় করিবার প্রধান ভূমিকা ক্যালসিয়ামের। শ্বেতসার পরিপাককারী ∝-অ্যামাইলেজ উৎসেচকের একটি প্রধান সহায়ক হইল ক্যালসিয়াম।

নাইট্রোজেন বিপাকের নাইট্রেট বিজারণে ক্যালসিয়ামের ভূমিকা অনেকাংশে স্বীকৃত। একাধিক উৎসেচকের সক্রিয়তায়ও ক্যালসিয়ামের ভূমিকা রহিয়াছে।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms)ঃ ক্যালসিয়ামের অভাবে উদ্ভিদের কাণ্ড, মূল ও পত্রের ভাজক কলা অংশের বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। ক্যালসিয়ামের অভাবে উদ্ভিদের অগ্রস্থ অংশের মৃত্যু ঘটে, ফলে উদ্ভিদ অঙ্গের বৃদ্ধি হ্রাস পায়। কোন কোন ক্ষেত্রে ক্যালসিয়ামের অভাবে উদ্ভিদ পত্রে ক্লোরোসিস জাতীয় অবস্থা পরিলক্ষিত হয়।

খ. স্বল্পমাত্রিক মৌল (Micro elements)

1. **লৌহ** (Iron)ঃ মৃত্তিকায় সাধারণতঃ লৌহের অভাব না হইলেও বিনিময় এবং দ্রবণীয় লৌহের পরিমাণ সময় সময় স্বল্প থাকে। উদ্ভিদ সাধারণতঃ ফেরিক (Fe^{+3}) অপেক্ষা ফেরাস (Fe^{+2}) লৌহ অধিক শোষণ করে। আম্লিক মৃত্তিকায় মৃত্তিকা দ্রবণে অধিক মাত্রায় লৌহ দ্রবীভূত থাকে এবং উদ্ভিদের পক্ষে ইহা শোষণযোগ্য হইলেও প্রশমিত ও ক্ষারীয় মৃত্তিকায় (অধিক চূণ প্রয়োগে) লৌহের শোষণ ব্যাহত হয়।

ক্লোরোফিল অণুর গঠনে লৌহ উপস্থিত না থাকিলেও ক্লোরোফিল সংশ্লেষে লৌহ বিশেষ কার্যকারী ভূমিকা গ্রহণ করিয়া থাকে। সাইটোক্রোম, ফেরিডক্সিন প্রভৃতি ইলেকট্রন বাহকের একটি বিশেষ উপাদানরূপে লৌহ ব্যবহৃত হয়। হিমোগ্লোবিন নামক রঞ্জক অণু ও নাইট্রোজিনেজ নামক উৎসেচকের গঠনকারী অংশরূপে লৌহ ব্যবহৃত হয়। সাইটোক্রোম, ফেরিডক্সিন ও নাইট্রোজিনেজ অণুগুলি ফেরিক $\rightleftharpoons$ ফেরাসরূপে বিজারিত ও জারিত হইয়া পরিবর্তিত হয়। উপরোক্ত যৌগগুলি উদ্ভিদের জারণ-বিজারণ পদ্ধতিতে অংশ গ্রহণ করিয়া বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে।

উদ্ভিদ কোষে লৌহ খুব স্বল্প পরিমাণে প্রয়োজন হয় এবং অধিকাংশ লৌহ জীবের জৈব অণু প্রস্তুতিতে কার্যকর।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms)ঃ লৌহের প্রধান

অভাবজনিত লক্ষণ হইল উদ্ভিদের তরুণ পত্রে আন্তঃশিরা ক্লোরোসিস (interveinal chlorosis)। জ্যাকবসন (Jacobson, 1957), হেউইট (Hewitt, 1963) এবং ন্যাসন ও ম্যাকেলরয় (Nason and McElroy, 1963) প্রভৃতি বৈজ্ঞানিকদের মতে লৌহের অভাবে ক্লোরোপ্লাস্টের আয়তন হ্রাস পায়। লৌহের অভাবে কড়াই মূলের অগ্রস্থ ভাজক অংশে কোষ বিভাজন ব্যাহত হয়।

সাধারণভাবে লৌহের অভাবে সিট্রেটের (citrate) পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। যদিও ইহার সঠিক ব্যাখ্যা অজ্ঞাত।

2. **ম্যাঙ্গানিজ** (Manganese)ঃ ম্যাঙ্গানিজ মৃত্তিকায় দ্বি-, ত্রি- ও চতুর্যোজীরূপে উপস্থিত থাকে। দ্বিযোজী আয়ণগুলি দ্রবণীয় অবস্থায় এবং বিনিমেয়রূপে মৃত্তিকা কণিকার চতুর্পার্শ্বে অবস্থিত থাকে। ত্রি- ও চতুর্যোজী আয়ণগুলি অদ্রবণীয় অবস্থায় অবিনিমেয় রূপে উপস্থিত থাকে বলিয়া উদ্ভিদ কর্তৃক শোষিত হয় না। উদ্ভিদ কর্তৃক শোষিত দ্বিযোজী ম্যাঙ্গানিজ আয়ণগুলি বিজারিত অবস্থায় থাকে এবং সামান্য বাতান্বিত ও আম্লিক মৃত্তিকায় তাহাদের শোষণ ত্বরান্বিত হয়। উপরোক্ত পরিবেশে ত্রি- ও চতুর্যোজী আয়ণ দ্বিযোজী আয়ণে বিজারিত হয়। অপরপক্ষে অধিক বাতান্বিত ক্ষারীয় মৃত্তিকায় ম্যাঙ্গানিজের জারণ ঘটে সুতরাং উদ্ভিদ কর্তৃক শোষিত হয় না। তাই চূণ প্রয়োগে মৃত্তিকা ক্ষারীয় হওয়ায় ম্যাঙ্গানিজ আয়ণ-শোষণ ব্যাহত হয়। জৈবিক জারণ মাধ্যমেও দ্বিযোজী ম্যাঙ্গানিজ ত্রি- ও চতুর্যোজীরূপে পরিবর্তিত হয়। প্রশমিত ও স্বল্প ক্ষারীয় মৃত্তিকায় জীবাণুদ্বারা এই জারণ পদ্ধতি সম্পন্ন হয়। সবাত অবস্থায় মৃত্তিকায় ম্যাঙ্গানিজের পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয়।

ম্যাঙ্গানিজ উদ্ভিদে প্রত্যক্ষ বা সহচারী অনুঘটকরূপে কার্য করে। ম্যাঙ্গানিজ লৌহ সম্পর্কযুক্ত জারণ-বিজারণ প্রক্রিয়ায় বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে। ফেরিক লৌহ মৃত্তিকা হইতে শোষিত হইবার পর উদ্ভিদ কোষে ফেরাস অবস্থায় বিজারিত হয়। উদ্ভিদ কোষে ম্যাঙ্গানিজ জারকীয় বস্তুর কার্য করে; ফলে অধিক ম্যাঙ্গানিজের উপস্থিতিতে লৌহ ফেরিক অবস্থায় থাকে, এবং লৌহের অভাবজনিত লক্ষণ পরিলক্ষিত হয়।

ম্যাঙ্গানিজ ডিহাইড্রোজিনেজ এবং কার্বক্সিলেজ জাতীয় উৎসেচকের

সক্রিয়করূপে কার্য করে। যে সমস্ত উৎসেচক ম্যাগনেশিয়াম কর্তৃক সক্রিয় হয় ; তাহারা ম্যাঙ্গানিজ কর্তৃকও সক্রিয় হয়। উদাহরণস্বরূপ ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষের, RNA ও DNA সংশ্লেষের এবং একাধিক শ্বসন-উৎসেচকের ক্রিয়াকে ম্যাঙ্গানিজ সক্রিয় করে। সালোকসংশ্লেষকালে জলের বিশ্লেষণ (photolysis) এবং অক্সিজেন নির্গমন পদ্ধতিটি ম্যাঙ্গানিজের উপর নির্ভরশীল। এ ক্ষেত্রে ম্যাঙ্গানিজ ইলেক্ট্রন বাহকের কার্য করে। ক্লোরোফিল সংশ্লেষেও ম্যাঙ্গানিজের ভূমিকা স্বীকৃত।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms) : ম্যাঙ্গানিজের অভাবজনিত লক্ষণ খুব বেশী পরিলক্ষিত হয় না। যবের "ধূসর ফুট্‌কি" (grey speck), শর্করাবীটের "হল্‌দে ফুট্‌কি" (speckled yellow) এবং কড়াইয়ের "জলা দাগ" (marsh spot) প্রভৃতি রোগগুলি ম্যাঙ্গানিজের বিশেষ অভাবজনিত লক্ষণ। উদ্ভিদ পত্রের আন্তঃশিরা (interveinal) ক্লোরোসিস ম্যাঙ্গানিজের অপর একটি বিশেষ অভাবজনিত লক্ষণ।

3. **বোরণ** (Boron) : বোরণ মৃত্তিকায় বিনিময় (যেমন বরিক অ্যাসিড H_3BO_3), দ্রবণীয় (যেমন ক্যালসিয়াম অথবা ম্যাগনেশিয়াম বোরেট) এবং অবিনিময় (সিলিকেটের সহিত) অবস্থায় বর্তমান থাকে। আম্লিক এবং আর্দ্র পরিবেশের মৃত্তিকায় বোরণের অভাব পরিলক্ষিত হয়। উদ্ভিদ মৃত্তিকা হইতে বোরেট ($BO_3\equiv$) রূপে মৃত্তিকা হইতে শোষণ করে।

ম্যাঙ্গানিজ ও দস্তার ন্যায় মৃত্তিকায় চূণ প্রয়োগ pH বৃদ্ধির ফলে বোরণ শোষণ ব্যাহত হয়। মৃত্তিকায় চূণ প্রায়েগ করিলে pH-এর সঙ্গে ক্যালসিয়ামের বৃদ্ধি ঘটে ; অনেকের মতে এই ক্যালসিয়াম বোরণ শোষণ ব্যাহত করে।

উদ্ভিদ বিপাকে বোরণ স্বল্প পরিমাণে প্রয়োজন হইলেও ইহার সঠিক ভূমিকা এখনও অজ্ঞাত। বোরণ শর্করা ও তাহাদের সদৃশ অণুর সহিত যৌগ প্রস্তুত করে বলিয়া, শর্করা পরিবহনে সম্ভবতঃ বোরণের ভূমিকা বিদ্যমান। বোরণ উৎসেচকের সক্রিয়রূপে ব্যবহৃত হয় না। বোরণ শিম্বিগোত্রীয় উদ্ভিদের মূল এবং মূল অর্বুদ সৃষ্টিতে সহায়তা করে বলিয়া নাইট্রোজেন সংবন্ধনে বোরণ প্রয়োজনীয়।

বোরণের অভাবে সূর্যমুখী উদ্ভিদের মূল ও কাণ্ডে RNA ও DNA-এর

পরিমাণ হ্রাস পায়, সুতরাং বোরণ সম্ভবতঃ নিউক্লিক অ্যাসিড বিপাকে প্রত্যক্ষ না হইলেও পরোক্ষভাবে অংশ গ্রহণ করে।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms): বোরণের অভাবে তামাক গাছের "অগ্রব্যাধি" (top sickness), চিনাবাদামের "ফাঁপা হৃদয়" (hollow heart), বীটের "হৃদয় পচন" (heart rot) প্রভৃতি অভাবজনিত রোগ পরিলক্ষিত হয়। বোরণের অভাবে গম গাছের তরুণ পত্র বিবর্ণ হয় এবং পত্রাগ্র কুঞ্চিত হয়। কোন কোন উদ্ভিদ পত্র বোরণের অভাবে লাল এবং নীল-বেগুনি বর্ণের হয়।

4. **মলিবডিনাম** (Molybdenum): মলিবডিনাম মৃত্তিকায় মলিবডেট ($MoO_4{=}$) লবণ এবং MoS_2 রূপে বর্তমান থাকিলেও উদ্ভিদে মলিবডেট রূপে অধিক শোষিত হয়।

একাধিক উদ্ভিদে ও জীবাণুতে নাইট্রেট হইতে নাইট্রাইটের বিজারণে মলিবডিনাম ইলেক্ট্রন স্থানান্তরণের কার্য করে।

$$NO_3^- + NADH + H^+ \xrightarrow[\text{নাইট্রেট্ রিডাকটেজ}]{Mo} NO_2^- + H_2O + NAD^+$$

মলিবডিনাম নাইট্রোজিনেজ উৎসেচকের একটি অখণ্ড অংশ বিশেষ। মলিবডিনাম ফসফেটেজ উৎসেচকের সহিত সম্পর্কযুক্ত। অনেকে মনে করেন উৎসেচক-সাবস্ট্রেট যৌগ প্রস্তুতিতে মলিবডিনামের ভূমিকা বিদ্যমান।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms): ফুলকপির "হুইপ টেল" (whiptail) এবং লেবুর "হলুদ দাগ" (yellow spot) মলিবডিনামের অভাবে পরিলক্ষিত হয়। মলিবডিনামের অভাবে আন্তঃশিরা ক্লোরোসিস একটি বিশেষ অভাবজনিত লক্ষণ। মলিবডিনামের চরম অভাবে উদ্ভিদে "পচনব্যাধি" (necrosis) পরিলক্ষিত হয়। মলিবডিনামের অভাবে উদ্ভিদে ফুল ও বীজ গঠন ব্যাহত হয়। শিম্বিগোত্রীয় উদ্ভিদে মলিবডিনামের অভাবে পত্র শুষ্কতা, পত্র কুঞ্চন এবং এমন কি পত্রের মোচনও পরিলক্ষিত হয়।

5. **দস্তা** (Zinc): মৃত্তিকা হইতে দস্তা (Zn^{++}) আয়নরূপে শোষণ করে। মৃত্তিকায় সাধারণভাবে দস্তা খুব স্বল্প পরিমাণে উপস্থিত থাকে। মৃত্তিকায় pH বৃদ্ধির ফলে দস্তার শোষণ ব্যাহত হয়। লেবু জাতীয় উদ্ভিদে,

মৃত্তিকার pH 6-এর উর্দ্ধে থাকিলে, দস্তার অভাবজনিত রোগ পরিলক্ষিত হয়। দস্তা EDTA*-এর সহিত যৌগরূপে শোষিত হইতে পারে।

অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজিনেজ, ল্যাকটিক ডিহাইড্রোজিনেজ, গ্লুটামিক ডিহাইড্রোজিনেজ ও কার্বক্সি পেপটাইডেজ ইত্যাদি উৎসেচকের গঠনকারী উপাদানরূপে দস্তার ব্যবহার রহিয়াছে। ডাইফস্‌ফো-পিরিডিন নিউক্লিও-টাইডেজ (DPNase) উৎসেচক সংশ্লেষেও দস্তার ভূমিকা স্বীকৃত।

ইণ্ডোল অ্যাসেটিক অ্যাসিড (IAA) নামক উদ্ভিদ হরমোন প্রস্তুতের অগ্রগামী উপাদান (precursor) ট্রিপটোফেন (অ্যামাইনো অ্যাসিড) প্রস্তুতের প্রয়োজনীয় উপাদানরূপে দস্তার ভূমিকা স্বীকৃত।

দস্তার উপস্থিতিতে উদ্ভিদের ফল ও বীজ সুগঠিত হয়।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms)ঃ দস্তার অভাবে আপেল, পীচ প্রভৃতি উদ্ভিদের পর্ব মধ্যবর্তী স্থানের দৈর্ঘ্য এবং পত্রের আয়তন হ্রাস পায়। সেইজন্য উপরোক্ত উদ্ভিদগুলিতে "ক্ষুদ্রপত্র" ও "রোসেট" (rosette) নামক অভাবজনিত লক্ষণ পরিলক্ষিত হয়। পত্রের কিনারা বিকৃতি ও কুঞ্চন এই রোগের অপর লক্ষণ। দস্তার অভাবজনিত লক্ষণরূপে কোন কোন উদ্ভিদে আন্তঃশিরা ক্লোরোসিস্‌ও পরিলক্ষিত হয়।

6. **তামা** (Copper)ঃ মৃত্তিকার কোলয়েড এবং জৈব উপাদানে পৃষ্ঠলগ্ন (adsorbed) অবস্থায় দ্বিযোজী তামা আয়ণ (Cu^{+2}) বর্তমান। উদ্ভিদ মৃত্তিকা হইতে তামা প্রধানতঃ কিউপ্রিক আয়ণ (Cu^{+2}) রূপে শোষণ করে। তামা অনেকক্ষেত্রে মৃত্তিকার জৈব উপাদানের সহিত সংযুক্ত থাকায়, জৈব উপাদানের আধিক্যে মৃত্তিকা হইতে তামার শোষণ ব্যাহত হয়।

সাইটোক্রোম অক্সিডেজ, পলিফিনল অক্সিডেজ, অ্যাসকরবিক অক্সিডেজ প্রভৃতি অক্সিডেজ জাতীয় জারণ-বিজারণ উৎসেচকের উপাদানরূপে তামা বিশেষ প্রয়োজনীয়।

তামার উপস্থিতিতে ল্যাকেজ উৎসেচকের কার্যকারিতা বৃদ্ধি পায় ফলে ফিনল হইতে কুইনোন প্রস্তুত হয়।

---

* ইথিলীন ডাই অ্যামাইন টেট্রাঅ্যাসেটিক অ্যাসিড (ethylene diamine tetra acetic acid)।

$$\text{ফিনল} \xrightarrow[\text{ল্যাকেজ}]{Cu^{++}} \text{o- এবং p-কুইনোন}$$

সালোকসংশ্লেষের ইলেক্ট্রন স্থানান্তরণ পদ্ধতির প্লাস্টোসায়ানিন (plasto-cyanin) নামক যৌগটির একটি বিশেষ উপাদানরূপে তামা ব্যবহৃত হয়।

অভাবজনিত লক্ষণ (Deficiency symptoms): উদ্ভিদে কদাচিত তামার অভাবজনিত রোগ পরিলক্ষিত হয়। তামার অভাবে তরুণ পত্র গাঢ় সবুজ বর্ণ ধারণ করিয়া কুঞ্চিত হয় এবং কখনও কখনও পচন দাগও পরিলক্ষিত হয়। তামার অভাবে লেবু গাছের পত্র শুষ্ক হইয়া "ডাই ব্যাক" (die back) রোগ দেখা যায়। টমেটো গাছে পরিপক্ক পত্রের পচন নুয়াইয়া যাওয়া তামার একটি অভাবজনিত লক্ষণ।

তামার অভাবে একাধিক ফসলী উদ্ভিদের কাণ্ড দুর্বল হয়। প্রোটীন ও অ্যামাইনো অ্যাসিডের ভারসাম্য নষ্ট তামার অভাবে ঘটিয়া থাকে।

তালিকা ঃ 3. উদ্ভিদের অপরিহার্য মৌলের তালিকা ও তাহাদের ভূমিকা ও অভাবজনিত লক্ষণ

মৌল	প্রয়োজনীয় ভূমিকা	অভাবজনিত লক্ষণ
নাইট্রোজেন (N)	অ্যামাইনো অ্যাসিড, প্রোটীন, নিউক্লিক অ্যাসিড, ATP, সহউৎসেচক, ক্লোরোফিল প্রভৃতি যৌগের উপাদান।	উদ্ভিদের বৃদ্ধি ব্যাহত হয়, ক্লোরোসিস, পত্র মোচন এবং অ্যান্থোসায়ানিন প্রস্তুত পরিলক্ষিত হয়।
ফসফরাস (P)	নিউক্লিক অ্যাসিড, নিউক্লিওটাইড, ফসফোলিপিড, শর্করা ফসফেট, ATP, সহ-উৎসেচকের উপাদান।	উদ্ভিদের বৃদ্ধি ব্যাহত, পত্রে গাঢ় নীল সবুজ বর্ণ, অ্যান্থোসায়ানিন প্রস্তুত, বিলম্বিত পরিপক্কতা, পরিপক্ক পত্রে অভাবজনিত লক্ষণ পরিলক্ষিত হয়।

মৌল	প্রয়োজনীয় ভূমিকা	অভাবজনিত লক্ষণ
পটাশিয়াম (K)	উৎসেচক সক্রিয়ক, প্রোটীন সংশ্লেষ ব্যাহত করে. এবং পত্ররন্ধ্রের সঙ্কোচনে প্রয়োজনীয়	পচনরোগ, বহুবর্ণের ক্লোরোসিস্, দুর্বল কাণ্ড প্রভৃতি অভাবজনিত রোগ।
ক্যালসিয়াম (Ca)	মধ্য ল্যামেলার উপাদান, কোষ পর্দার গঠন ও ভেদ্যতা, ∝-অ্যামাইলেজের উপাদান।	মূল ও বিপট অগ্রের পচন, উদ্ভিদ বৃদ্ধি ব্যাহত ; তরুণ পত্রে অভাবজনিত রোগ পরিলক্ষিত হয়।
ম্যাগনেশিয়াম (Mg)	ক্লোরোফিলের উপাদান, উৎসেচক সক্রিয়ক, রাইবোসোম ইত্যাদির গঠন রক্ষা করে।	পত্রে বহুবর্ণ ক্লোরোসিস, পত্রাগ্র কুঞ্চন, পরিপক্ক পত্রে অভাবজনিত লক্ষণ।
সালফার (S)	প্রোটীন, থায়ামিন, বায়োটিন এবং কোএনজাইম-A প্রভৃতি যৌগের উপাদান।	তরুণ পত্রে আন্তঃশিরা ক্লোরোসিস্।
লৌহ (Fe)	সাইটোক্রোম ও ফেরিডক্সিন গঠনে, উৎসেচক সক্রিয়ক, ক্লোরোফিল সংশ্লেষে ভূমিকা।	তরুণ পত্রে আন্তঃশিরা ক্লোরোসিস। হ্রস্ব ও দুর্বল কাণ্ড।
বোরণ (B)	কার্বোহাইড্রেট পরিবহন, ফিনলিক অ্যাসিড সঞ্চয় এবং বিষক্রিয়াকে বাধা প্রদান।	কাণ্ড ও মূলাগ্রের কালো পচন, মূলের স্ফীতি এবং পত্র কুঞ্চন।
ম্যাঙ্গানিজ (Mn)	উৎসেচক সক্রিয়ক, অনুঘটক, ইলেক্ট্রন বাহকরূপে কার্য করে।	ক্ষুদ্র শিরায় ক্লোরোসিস, শিরার পচন, এবং তরুণ পত্র বিশেষভাবে আক্রান্ত হয়।

মৌল	প্রয়োজনীয় ভূমিকা	অভাবজনিত লক্ষণ
দস্তা (Zn)	IAA এবং ক্লোরোফিল প্রস্তুতে, কতিপয় উৎসেচকের সংগঠকরূপে।	ক্লোরোসিস, পর্বমধ্য ও পত্র বৃদ্ধি ব্যাহত, পত্র কিনারায় বিকৃতি।
তামা (Cu)	নাইট্রেট বিজারণ, ইলেক্ট্রন বাহক এবং কতিপয় উৎ-সেচকের গঠনরূপে।	তরুণ পত্রে বিকৃতি, গাঢ় সবুজ বর্ণ ও পত্র নুয়াইয়া পড়া।
মলিবডিনাম (Mo)	নাইট্রেট বিজারণ, নাইট্রোজেন সংবন্ধন ও ইলেক্ট্রন বাহকরূপে।	ক্লোরোসিস, তরুণ পত্রে পচন ও বিকৃতি।

পত্র পুষ্টি (Foliar nutrition)ঃ লেম্‌না (*Lemna*), পত্রবাঁঝি (*Vallisneria*), ইলোডিয়া (*Elodea*) প্রভৃতি জলজ উদ্ভিদের পত্রে কিউটিকল্ ও পত্ররন্ধ্র অনুপস্থিত থাকায় অধিকাংশ পুষ্টিদ্রব্য নিমজ্জিত পত্রের কোষ দ্বারা শোষিত হয়। স্থলজ উদ্ভিদের পত্রে স্থূল কিউটিকলের মাধ্যমে পত্র-পুষ্টি (foliar nutrition) পরিলক্ষিত হয়। অধিকাংশ স্থলজ উদ্ভিদে পত্ররন্ধ্র থাকা সত্ত্বেও তাহা পত্রপুষ্টিতে বিশেষ সহায়ক নয়, কারণ উদ্ভিদ পত্রে পুষ্টি দ্রবণ অধিক পৃষ্ঠলগ্ন অবস্থায় থাকায় সহজে পত্ররন্ধ্রের সূক্ষ্ম রন্ধ্র দ্বারা প্রবেশ করিতে পারে না।

অধিকাংশ উদ্ভিদে পুষ্টি কিউটিকলের মাধ্যমে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় প্রবেশ করে। কিউটিকল স্তরে চিড়্ বা ফাটল থাকিলে অথবা ধারাবাহিক না হইলে পুষ্টি দ্রবণ প্রবেশে সহায়ক হয়। উদ্ভিদ ত্বকের কোষে **এক্টোডেসমাটা** (ectodesmata) নামক আণুবীক্ষণিক গঠন কিউটিকল স্তরে প্রবেশ করে। পুষ্টি দ্রবণ কিউটিকলে প্রবেশ করিয়া এক্টোডেসমাটা মাধ্যমে কোষে প্রবেশ করে। কোষে প্রবেশ করিবার পর ইহাদের পরিবহন সাধারণ মূলকোষের ন্যায় দেখা যায়।

বর্তমানে পত্রপুষ্টি পদ্ধতিটি কৃষিক্ষেত্রে বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে। একাধিক ফল-উদ্ভিদে লৌহ, তামা, ম্যাঙ্গানিজ, দস্তা প্রভৃতি স্বল্পমাত্রিক মৌলগুলিকে বায়বীয় স্প্রে করিয়া সুফল পাওয়া গিয়াছে। এই সমস্ত উদ্ভিদে মৃত্তিকার তুলনায়

বায়বীয় স্প্রে দ্বারা অধিক শোষণ ঘটে। ইউরিয়া (urea) প্রভৃতি নাইট্রোজেন ঘটিত সার পত্র মাধ্যমে অধিক শোষণ হওয়ায় বর্তমানে এই সারটি স্প্রে পদ্ধতিতেও ব্যবহৃত হয়। বর্তমানকালে সার ছাড়াও বৃদ্ধি হরমোন, কীটঘ্ন, বীজাণুঘ্ন প্রভৃতি রাসায়নিক পদার্থও পত্রপুষ্টির মাধ্যমে ব্যবহার করা হইয়া থাকে। বর্তমানকালে প্রস্বেদন-প্রতিরোধী* (antitranspirants) নামক একাধিক রাসায়নিক পদার্থও পত্রে প্রয়োগ করা হইয়া থাকে।

পত্রদ্বারা উপরোক্ত রাসায়নিক পদার্থ শোষিত হইলেও, বৃষ্টিপাতের ফলে উপরোক্ত পদার্থগুলির অনেকাংশে ধৌত হইয়া যায়। প্রতিকূল আবহ পরিবেশে মৃত্তিকায় সার প্রয়োগ কার্যকর হয় না, সেই সমস্ত ক্ষেত্রে উদ্ভিদের অতিমাত্রিক আবশ্যকীয় মৌলগুলিকে স্প্রে করিয়া পত্রে প্রয়োগ করা হইয়া থাকে।

---

* ফিনাইল মারকিউরিক অ্যাসিটেট, বর্ণহীন প্লাসটিক, সিলিকন তৈল প্রভৃতি রাসায়নিক পদার্থ পত্রে প্রয়োগ করিলে, উদ্ভিদের সাধারণ বৃদ্ধি এবং সালোকসংশ্লেষের CO_2 সংবন্ধন পদ্ধতিগুলিকে ব্যাহত না করিয়া প্রস্বেদন হার হ্রাস করে। এই জাতীয় পদার্থগুলিকে প্রস্বেদন-প্রতিরোধী (antitranspirant) বলা হয়। কার্বনডাই অক্সাইড-3 অধিক ঘনত্বে প্রস্বেদন প্রতিরোধী হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

দ্বিতীয় অধ্যায়

কার্বোহাইড্রেট, স্নেহ পদার্থ এবং অন্যান্য জৈব যৌগ

(Carbohydrate, Lipids and Other Organic Compounds)

---

1. কার্বোহাইড্রেট (Carbohydrate) :

কার্বোহাইড্রেট একটি বিশেষ প্রয়োজনীয় প্রাকৃতিক জৈব যৌগ। উদ্ভিদ, প্রাণী ও জীবাণু জগতে বিস্তৃত এই যৌগটির প্রায়োগিক সংকেত (empirical formula) $(CH_2O)_n$; n সংখ্যাটি 3 বা তদূর্দ্ধ। অধিকাংশ উদ্ভিদে শুষ্ক ওজনের শতকরা 50-80 ভাগ কার্বোহাইড্রেট বর্তমান। কার্বোহাইড্রেট জীবের শক্তি ভাণ্ডার এবং উদ্ভিদের গঠন শৈলীর প্রধান উপাদান। সুতরাং কার্বোহাইড্রেটের সংশ্লেষ ও বিপাক আলোচনার পূর্বে, কার্বোহাইড্রেটের রসায়ন বিশেষভাবে আলোচনার প্রয়োজন।

কার্বোহাইড্রেটের প্রতি অণু কার্বনের সহিত জলের অনুপাতে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন উপস্থিত ; অর্থাৎ প্রতি কার্বনের সহিত সাধারণতঃ দুইটি হাইড্রোজেন এবং একটি অক্সিজেন যুক্ত থাকে।

কার্বোহাইড্রেটকে তিনটি প্রধান শ্রেণীতে বিভক্ত করা হয়। যথা : মনোস্যাকারাইড (monosaccharide), ওলিগোস্যাকারাইড (oligosaccharide) এবং পলিস্যাকারাইড (polysaccharide)। সরল শর্করাকে জল বিশ্লেষণ (hydrolysis) দ্বারা কোন ক্ষুদ্র কার্বোহাইড্রেট একক পাওয়া যায় না বলিয়া ইহাদের **মনোস্যাকারাইড** বলা হয়। মনোস্যাকারাইডকে তাহাদের কার্বন সংখ্যা দ্বারা শ্রেণীবিন্যাস করা হয়। যে সমস্ত যৌগিক শর্করায় দুই হইতে আটটি সরল শর্করা একক থাকে তাহাদের **ওলিগোস্যাকারাইড** বলে। গ্লাইকোসাইডিক* (glycosidic) বন্ধনীর দ্বারা মনোস্যাকারাইডগুলি যুক্ত

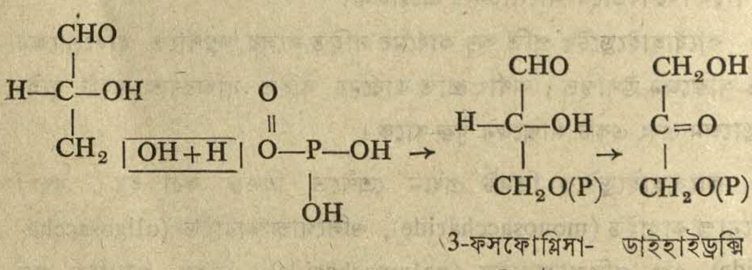
---

* একটি মনোস্যাকারাইডের কোন হাইড্রক্সিল বর্গের সহিত অপর একটি মনোস্যাকারাইডের কোন কার্বনে হাইড্রক্সিল বর্গের সংযুক্তিকরণকে গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনী (glycosidic bond) বলা হয়।

হইয়া ওলিগোমার (oligomers) প্রস্তুত করে বলিয়া ইহাদের ওলিগোস্যাকারাইড বলা হয়। মনোস্যাকারাইড ও ওলিগোস্যাকারাইড সাধারণতঃ কেলাসিত (crystalline) এবং সুমিষ্ট স্বাদের। যে সমস্ত কার্বোহাইড্রেট জল বিশ্লেষণ দ্বারা একাধিক মনোস্যাকারাইড উৎপন্ন করে তাহাদের **পলিস্যাকারাইড** বলে। গ্লুকোজ (glucose), জাইলোজ (xylose), অ্যারাবিনোজ (arabinose) প্রভৃতি মনোস্যাকারাইডগুলি গ্লাইকোসাইড বন্ধনীদ্বারা যুক্ত হইয়া পলিস্যাকারাইড প্রস্তুত হয়। পলিস্যাকারাইডগুলি সাধারণতঃ অধিক আণবিক গুরুত্ব (mol. wt.) সম্পন্ন এবং ইহারা স্বাদহীন, অদ্রবণীয় এবং কেলাসিত নহে।

ক. **মনোস্যাকারাইড** (Monosaccharides) : মনোস্যাকারাইড কার্বন সংখ্যা অনুসারে ট্রায়োজ (triose), টেট্রোজ (tetrose), পেণ্টোজ (pentose), হেক্সোজ (hexose) ইত্যাদি বিভিন্ন ভাগে বিভক্ত।

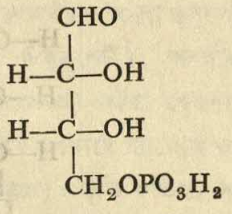
উদ্ভিদে ট্রায়োজ মনোস্যাকারাইডগুলি সাধারণতঃ ফসফেট এস্টার (esters) রূপে বর্তমান। 3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড ও ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট যৌগ দুইটি ট্রায়োজ শর্করার উদাহরণ।



3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট

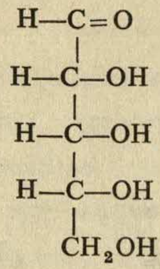
3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড শ্বসন এবং ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট লিপিড বিপাকে বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে।

4-কার্বন বিশিষ্ট এরিথ্রোজ 4-ফসফেট (erythrose 4-phosphate) টেট্রোজ শর্করার উদাহরণ। ফিনাইল অ্যালানিন এবং টাইরোসিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড, লিগনিন নামক কোষপ্রাচীর পদার্থ এবং অ্যান্থোসায়ানিন নামক রঞ্জক পদার্থের প্রস্তুতিতে টেট্রোজ শর্করা বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে।

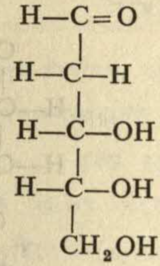


এরিথ্রোজ 4-ফস্ফেট

5-কার্বন বিশিষ্ট মনোস্যাকারাইডকে পেণ্টোজ শর্করা বলা হয়। অ্যালডিহাইড (-CHO) সমন্বিত পেণ্টোজকে অ্যালডোপেণ্টোজ (aldopentose) এবং কিটো (=CO) সমন্বিত পেণ্টোজকে কিটোপেণ্টোজ (ketopentose) বলা হয়। অ্যারাবিনোজ (arabinose), জাইলোজ (xylose) এবং রাইবোজ (ribose) উদ্ভিদের প্রধান পেণ্টোজ শর্করা। অ্যারাবিনোজ ও জাইলোজ সাধারণতঃ কোষে মুক্ত অবস্থায় না থাকিয়া কোষ প্রাচীরে অ্যারাবান্ (araban) এবং জাইল্যান্ (xylan) নামক পলিমার (polymers) রূপে অবস্থান করে। রাইবোজ এবং ডিঅক্সিরাইবোজ (deoxyribose) যথাক্রমে রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড (ribonucleic acid বা RNA) এবং ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিডের (deoxyribonucleic acid বা DNA) সহিত যুক্ত থাকে (বিশদ বিবরণের জন্য তৃতীয় অধ্যায়ের 'নিউক্লিক অ্যাসিড' অংশ দ্রষ্টব্য)। রাইবোজ শর্করা ATP, NAD^+, $NADP^+$, FAD, এবং Co-A প্রভৃতি সহউৎসেচকের (coenzymes) সহিতও যুক্ত (বিশদ বিবরণের জন্য চতুর্থ অধ্যায় দ্রষ্টব্য)। শ্বসন, সালোকসংশ্লেষ এবং নিউক্লিক অ্যাসিড সংশ্লেষের জন্য প্রয়োজনীয় রাইবোজ 5-ফসফেট এবং নিউক্লিওটাইড (nucleotide) সংশ্লেষের জন্য 5-ফসফোরাইবোসাইল—1-পাইরোফসফেট (5-phosphoribosyl 1-pyrophosphate) পেণ্টোজ শর্করার অপর দৃষ্টান্ত। কিটোপেণ্টোজের মধ্যে ফস্ফেট এস্টারীভূত জাইলিউলোজ (xylulose) এবং রাইবিউলোজ (ribulose) বিশেষ উল্লেখযোগ্য। রাইবিউলোজ—5-ফসফেট এবং জাইলিউলোজ—5-ফসফেট শ্বসন ও সালোকসংশ্লেষে অংশ গ্রহণ করে।

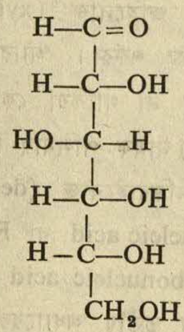


রাইবোজ

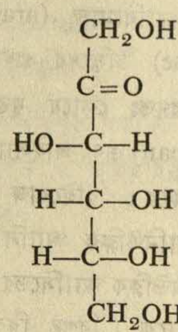


ডিঅক্সিরাইবোজ

6-কার্বন বিশিষ্ট হেক্সোজ, অ্যালডোহেক্সোজ এবং কিটোহেক্সোজ এই দুইটি শ্রেণীতে বিভক্ত। গ্লুকোজ (glucose), গ্যালাক্টোজ (galactose) এবং ম্যানোজ (mannose) অ্যালডোহেক্সোজ এবং ফ্রাক্টোজ (fructose) কিটোহেক্সোজের উদাহরণ।



গ্লুকোজ (অ্যালডোহেক্সোজ)



ফ্রাক্টোজ (কিটোহেক্সোজ)

অ্যালডোহেক্সোজ ও কিটোহেক্সোজ অণুতে অ্যালডিহাইড ও কিটো বর্গ মুক্ত অবস্থায় বর্তমান থাকায় বিজারক (reducing) বস্তুরূপে কার্য করে। ক্ষারীয় দ্রবণে তামা (Cu) প্রভৃতি ধাতব আয়নকে বিজারিত করিবার ক্ষমতা দ্বারা উপরোক্ত কার্বোহাইড্রেটের বিজারণ ধর্ম প্রমাণিত হয়। বিজারক শর্করা (reducing sugar) ফেলিং দ্রবণ (Fehling's solution) দ্বারা সনাক্ত করা যায়। ফেলিং দ্রবণের কিউপ্রিক হাইড্রোক্সাইড [$Cu(OH)_2$] উপরোক্ত শর্করার অ্যালডিহাইড বা কিটো বর্গ দ্বারা বিজারিত হইয়া কিউপ্রাস অক্সাইডে (Cu_2O) পরিণত হয়। এই কিউপ্রাস অক্সাইড স্বল্প দ্রবণীয় হওয়ায় লাল (ইষ্টক-লাল) বর্ণের অধঃক্ষেপ রূপে নির্গত হয়।

গ্লুকোজ কোষে মুক্ত অবস্থায় অথবা ফস্‌ফেট এষ্টারীভূত (যেমন গ্লুকোজ 1-ফস্‌ফেট, গ্লুকোজ 6-ফস্‌ফেট) অবস্থায় অবস্থান করে। গ্লুকোজ পলিমারভূত (polymerised) হইয়া শ্বেতসার (starch) এবং সেলুলোজ (cellulose) প্রস্তুত করে। কোষে ম্যানোজ ও গ্যালাক্‌টোজ খুব স্বল্প পরিমাণে বর্তমান। আগার (agar) প্রভৃতি কতিপয় সামুদ্রিক শৈবালের কোষপ্রাচীর গ্যালাক্‌টোজ দ্বারা প্রস্তুত। গ্যালাক্‌টোজ ও ম্যানোজের পলিমারভূত অবস্থার নাম গ্যালাক্‌টান (galactan) এবং ম্যানান (mannan)। ইহারা গৌণ কোষ প্রাচীর প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। উদ্ভিদে কিটোহেক্সোজ (ফ্রাক্টোজের) পরিমাণ অধিক। ফলের রস, নেক্‌টার এবং মধুতে অধিক মাত্রায় ফ্রাক্টোজ উপস্থিত থাকে। ফ্রাক্টোজের ফস্‌ফেটযুক্ত এষ্টার, যেমন ফ্রাক্টোজ 6-ফস্‌ফেট এবং ফ্রাক্টোজ 1-6-ডাইফস্‌ফেট শ্বসনে বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে। চিনিতে গ্লুকোজ ও ফ্রাক্টোজ উভয়ই বিদ্যমান (সুক্রোজ অবস্থায়)।

উদ্ভিদের 7-কার্বন বিশিষ্ট হেক্সোজের মধ্যে সেডোহেপ্টুলোজ (sedoheptulose) বিশেষ উল্লেখযোগ্য। সেডাম (*Sedum*) নামক উদ্ভিদের পাতায় এবং রসাল উদ্ভিদে (succulent plants) সেডোহেপ্টুলোজ মুক্ত অবস্থায় থাকিলেও ইহাদের ফস্‌ফেট এস্টার সেডোহেপ্টুলোজ 7-ফস্‌ফেট সমস্ত উদ্ভিদে শ্বসন ও সালোকসংশ্লেষে বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে।

বিভিন্ন মনোস্যাকারাইড নিউক্লিওটাইডের সহিত যুক্ত হইয়া কতকগুলি 'সক্রিয়' শর্করা প্রস্তুত করে। ইহারা ওলিগো- ও পলিস্যাকারাইড সংশ্লেষে অংশ গ্রহণ করে। গ্লুকোজের একটি সক্রিয় অবস্থা ইউরিডিন ডাইফস্‌ফেট গ্লুকোজ (uridine diphosphate glucose or UDPG)। গ্লুকোজ 1-ফস্‌ফেট ও ইউরিডিন ট্রাইফস্‌ফেট বিক্রিয়া করিয়া ইউরিডিন ডাইফস্‌ফেট গ্লুকোজ (UDPG) প্রস্তুত করে এবং পাইরোফস্‌ফেট নির্গত হয়। UDP ছাড়া অন্যান্য শর্করা নিউক্লিওটাইডগুলিতে ADP, GDP, CDP থাকে।

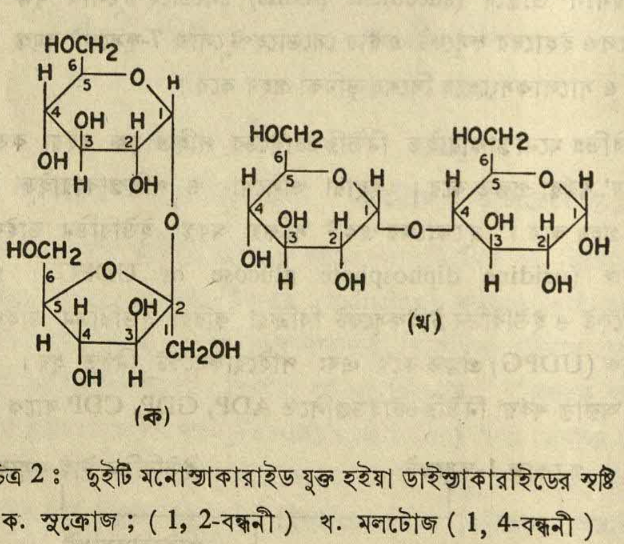
গ্লুকোজ 1-ফস্‌ফেট ইউরিডিন ট্রাই ফস্‌ফেট

— পাইরোফস্‌ফেট

ইউরিডিন ডাইফস্‌ফেট গ্লুকোজ
(UDPG)

খ. **ওলিগোস্যাকারাইড** (Oligosaccharide) : ওলিগোস্যাকারাইড এক শ্রেণীর বিশেষ গ্লাইকোসাইড (glycoside)। কোন শর্করার একটি অ্যালকোহল অংশ অন্য শর্করার কোন অ্যালকোহল অংশ বিক্রিয়ার পর **ওলিগোস্যাকারাইড** প্রস্তুত হয়। কখনও কখনও অ্যালকোহল অংশ শর্করার NH বর্গের দ্বারা আকৃষ্ট হয়। প্রথমোক্ত সংযুক্তিকে O-গ্লাইকোসাইড এবং দ্বিতীয়োক্ত সংযুক্তিকে N-গ্লাইকোসাইড বলা হয়। ওলিগো- এবং পলি-স্যাকারাইড O-গ্লাইকোসাইডের এবং নিউক্লিওটাইড ও পলিনিউক্লিওটাইড N-গ্লাইকোসাইডের উদাহরণ।

দুইটি মনোস্যাকারাইড একত্রে যুক্ত হইয়া **ডাইস্যাকারাইড** (disaccharide) প্রস্তুত হয়। উদ্ভিদ কোষে ডাইস্যাকারাইড মুক্ত অবস্থায় অথবা শর্করা-বিহীন পদার্থের (aglycone) সহিত যুক্ত থাকে। মলটোজ (maltose), সেলোবায়োজ (cellobiose) এবং জেনসিওবায়োজ (gentiobiose) দুইটি সদৃশ গ্লুকোজ অণু যুক্ত হইয়া প্রস্তুত হয়। একটি গ্লুকোজের অ্যালডিহাইড বর্গ অপর একটি গ্লুকোজের 4-কার্বনের হাইড্রক্সিল বর্গের সহিত যুক্ত হইয়া



চিত্র 2 : দুইটি মনোস্যাকারাইড যুক্ত হইয়া ডাইস্যাকারাইডের সৃষ্টি।
ক. সুক্রোজ ; (1, 2-বন্ধনী) খ. মলটোজ (1, 4-বন্ধনী)

মলটোজ প্রস্তুত হয় বলিয়া একটি অ্যালডিহাইড বর্গ প্রকাশিত থাকে ফলে মলটোজ একটি বিজারক শর্করা (reducing sugar)। অঙ্কুরিত বীজে

শ্বেতসার বিশ্লেষণের সময় মলটোজের উপস্থিতি পরিলক্ষিত হয়। উদ্ভিদে বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ডাইস্যাকারাইড হইল সুক্রোজ (sucrose)। এক অণু গ্লুকোজ ও এক অণু ফ্রাক্টোজ গ্লাইকোসাইড বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত করিয়া সুক্রোজ প্রস্তুত হয়। গ্লুকোজ অণুর 1-কার্বন এবং ফ্রাক্টোজ অণুর 2-কার্বন স্থানের যথাক্রমে অ্যালডিহাইড এবং কিটো বর্গের সহিত গ্লাইকোসাইড বন্ধনী সমাধা হয়। ফলে গ্লুকোজ ও ফ্রাক্টোজের বিজারণ ক্ষমতা নষ্ট হয় এবং ফলে সুক্রোজ একটি অবিজারক শর্করা (non-reducing sugar)।

সুক্রোজ ইত্যাদি ওলিগোস্যাকারাইড হইল উদ্ভিদের প্রধান পরিবহণকারী কার্বোহাইড্রেট। ইক্ষু কাণ্ড ও বীট মূলে অধিক মাত্রায় সুক্রোজ সঞ্চিত থাকে।

ওলিগোস্যাকারাইডের আর একটি শর্করা র‍্যাফিনোজ (raffinose) ইহা তিনটি মনোস্যাকারাইড একক লইয়া গঠিত হওয়ায় ইহারা ট্রাইস্যাকারাইড (trisaccharide) গোষ্ঠীর। ইহাদের উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদে পাওয়া যায়। সাধারণতঃ অধিক শৈত্য ও উচ্চতায় ইহারা বেশী মাত্রায় সঞ্চিত থাকে। গ্যালাক্টোজ, গ্লুকোজ ও ফ্রাক্টোজ কয়েকটি অণু যুক্ত হইয়া (গ্যালাক্টোজের সহিত সুক্রোজ) র‍্যাফিনোজ প্রস্তুত হয়। UDPG এবং ফ্রাক্টোজ যুক্ত হইয়া যেমন সুক্রোজ প্রস্তুত হয় ঠিক তেমনি UDP-গ্যালাকটোজ ও সুক্রোজ বিক্রিয়া ঘটাইয়া র‍্যাফিনোজ প্রস্তুত হয়। সাম্প্রতিককালে বীনগাছের (*Vicia faba*) বীজ হইতে উপরোক্ত বিক্রিয়া ঘটাইবার উৎসেচকটি আবিস্কৃত হইয়াছে :

$$\text{UDP-গ্যালাক্টোজ} + \text{সুক্রোজ} \xrightarrow{\text{উৎসেচক}} \text{UDP} + \underbrace{\text{গ্যালাক্টোজ} - \text{সুক্রোজ}}_{\text{(র‍্যাফিনোজ)}}$$

টেট্রাস্যাকারাইডের (tetrasaccharide) মধ্যে বিশেষ ভাবে উল্লেখযোগ্য স্ট্যাকিয়োজ (stachyose) শর্করার। ইহা গ্যালাক্টোজ-গ্যালাক্টোজ-গ্লুকোজ-ফ্রাক্টোজ দ্বারা প্রস্তুত অর্থাৎ ট্রাই স্যাকারাইডের সহিত অপর একটি গ্যালাক্টোজ যুক্ত হইয়া টেট্রাস্যাকারাইড প্রস্তুত হয়।

সুতরাং দেখা যাইতেছে শর্করা গ্লাইকোসাইড বন্ধনীর দ্বারা একটি শর্করা-বিহীন (aglycone, অ্যাগ্লাইকন) অথবা অপর একটি শর্করা দ্বারা যুক্ত হইতে

পারে। বিশুদ্ধ অ্যালকোহল ব্যতীত, জৈব অ্যাসিড, ফিনল এবং শর্করা অ্যালকোহলের উৎসরূপে ব্যবহৃত হইতে পারে।

গ. **পলিস্যাকারাইড** (Polysaccharide) : অধিক সংখ্যক মনোস্যাকারাইড একত্রে পলিমারভূত (polymerised) হইয়া পলিস্যাকারাইড প্রস্তুত হয়। একই ধরণের শর্করা যুক্ত হইয়া শ্বেতসার (starches) এবং সেলুলোজ (cellulose) প্রস্তুত হয়। আবার বিভিন্ন শর্করা পলিমারভূত হইয়া গদ (gumes) এবং মিউসিলেজ (mucilage) প্রস্তুত হয়। পলিস্যাকারাইড অধিক আণবিক ওজন (mol. wt.) সম্পন্ন হওয়ায় ইহারা সাধারণতঃ জলে অদ্রবণীয়। খুব অল্প সংখ্যক পরিস্যাকারাইড গরম জলে দ্রবণীয়।

1. **শ্বেতসার** (Starches) : উদ্ভিদে গুরুত্বপূর্ণ কার্বোহাইড্রেটের মধ্যে শ্বেতসারের নাম সর্বাগ্রে। উদ্ভিদের ক্লোরোপ্লাস্টে শ্বেতসার সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় প্রস্তুত হয়। লিউকোপ্লাস্টে শর্করা পরিবাহিত হইয়া শ্বেতসারে পরিণত হয় এবং সঞ্চিত হইয়া থাকে। অ্যামাইলোজ (amylose) এবং অ্যামাইলোপেকটিন (amylopectin) এই দুইটি উপাদান লইয়া শ্বেতসার গঠিত। উভয় উপাদান দুইটি গ্লুকোজ অণু দ্বারা গঠিত। গ্লুকোজ অণুগুলি কার্বনের 1-4 স্থানে গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনীর দ্বারা সংযুক্ত থাকায় ইহারা স্ক্রুর ন্যায় পেঁচাল (helix) হয়। 200 হইতে 1000 গ্লুকোজ অণু লইয়া অ্যামাইলোজ প্রস্তুত হয়। অ্যামাইলোজ অণুর স্ক্রুর ন্যায় পেঁচালো স্থানে আয়োডিন (I_2) অতি সহজে যুক্ত হইতে পারে। এই অ্যামাইলোজ অংশ আয়োডিন-আয়ডাইড দ্রবণে বিক্রিয়ায় কাল্চে-নীল (blue-black) বর্ণের হয়। এই পরীক্ষাদ্বারা কোষে শ্বেতসারের উপস্থিতি প্রমাণিত হয়।

অ্যামাইলোপেকটিন অপরপক্ষে শাখান্বিত। গ্লুকোজের প্রথম সংযুক্তি কার্বনের 1-4 স্থানে এবং পার্শ্বশাখাগুলি 1-6 কার্বন স্থানে শাখান্বিত হয়। অ্যামাইলোপেকটিনে 2000 হইতে প্রায় 200,000 গ্লুকোজ অণু যুক্ত হয়।

শ্বেতসারে অ্যামাইলোজের পরিমাণ 0 হইতে শতকরা 40 ভাগ বর্তমান। আলুর স্ফীতকন্দে অধিক মাত্রায় শ্বেতসার সঞ্চিত থাকে। আলু শ্বেতসারে শতকরা 22 ভাগ অ্যামাইলোজ এবং 78 ভাগ অ্যামাইলোপেকটিন থাকে। ধান, ভুট্টা, গম ও কলাতে প্রায় ঐ একই পরিমাণ অ্যামাইলোজ ও অ্যামাইলোপেকটিন বর্তমান। উদ্ভিদের অ্যামাইলোজ উপাদানটি "জিন"

নিয়ন্ত্রিত। কতিপয় মোমের ন্যায় (waxy) সস্য শুধুমাত্র অ্যামাইলো পেকটিন দ্বারা পরিপূর্ণ। মোমের ন্যায় সস্যের বংশগতি (inheritance) প্রচ্ছন্ন (recessive) জিনদ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। কুঞ্চিত মটরের শ্বেতসার শুধুমাত্র অ্যামাইলোজ দ্বারা পরিপূর্ণ। প্লাসটিডে শ্বেতসারের অবক্ষেপন (deposition) বিভিন্ন উদ্ভিদে ভিন্ন ভিন্ন প্রকারের হয়, ফলে উদ্ভিদের বিভিন্ন প্রজাতিতে (species) বিভিন্ন আকার ও আয়তনের শ্বেতসার পরিলক্ষিত হয়। আলুর শ্বেতসার অপেক্ষাকৃত বৃহৎ আকারের কিন্তু ধানের শ্বেতসার সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্র আকারের হয়। অণুবীক্ষণ যন্ত্রে শ্বেতসারকে স্তরীভূত (layering) অবস্থায় দেখা যায়। শ্বেতসারের স্তর দিন ও রাত্রির পর্যাবৃত্তির (alternation) ফলে ঘটিয়া থাকে। পরীক্ষাদ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে বার্লি ও গম সস্যের শ্বেতসার অবিরাম আলোকের ফলে অস্তরীভূত অবস্থায় থাকে। আলু শ্বেতসারের স্তর অবশ্য আলোকদ্বারা প্রভাবান্বিত নয় (শ্বেতসার সংশ্লেষ ও বিশ্লেষণ সপ্তম অধ্যায়ে দ্রষ্টব্য)।

2. **ফ্রাক্টোজ্যান** (Fructosan): পলিস্যাকারাইডের ফ্রাক্টোজ পলিমারকে ফ্রাক্টোজ্যান বলা হয়। শ্বেতসারের ন্যায় ফ্রাক্টোজ্যানও ধান গোত্রীয় (Gramineae), সূর্যমুখী গোত্রীয় (Compositae) প্রভৃতি কতিপয় উদ্ভিদ গোত্রে খাদ্যরূপে সঞ্চিত থাকে। গ্রামিণী গোত্রে 10-12টি ফ্রাক্টোজ এবং কম্পজিটি গোত্রে 35টি ফ্রাক্টোজ একক সংযুক্ত হইয়া ফ্রাক্টেজ্যান প্রস্তুত হয়। শ্বেতসারের ন্যায় ফ্রাক্টোজ্যান অধিক দীর্ঘাকৃতির নয় বলিয়া, ফ্রাক্টোজ্যান জলে দ্রবণীয়। এদের প্রস্তুত প্রণালী র‍্যাফিনোজের ন্যায়। ফ্রাক্টোজ্যান শাখান্বিত বা অশাখান্বিত উভয় প্রকারের হয়। ইনিউলিন (inulins) প্রভৃতি ফ্রাক্টোজ্যানে প্রথম ফ্রাক্টোজ অণুর 1-কার্বনের সহিত দ্বিতীয় ফ্রাক্টোজ অণুর 2-কার্বন স্থানে সংযুক্তি ঘটে। ইনিউলিনের শৃঙ্খল 25-35টি ফ্রাক্টোজ একক দ্বারা তৈরী এবং শৃঙ্খল প্রান্তে একটি গ্লুকোজ অণু বর্তমান।

ইনিউলিন গ্লু-1-[2 ফ্রাক্টো-1-2 ফ্রাক্টো-1-2 ফ্রাক্টো 1-]$_n$ 2 ফ্রাক্টো

কেলিন গ্লু-1-[2-ফ্রাক্টো-6-2 ফ্রাক্টো-6-2 ফ্রাক্টো 6-]$_n$ 2-ফ্রাক্টো

গ্রামিণী গোত্রের ফ্রাক্টোজ্যান প্রথম ফ্রাক্টোজের 2-কার্বনের সহিত দ্বিতীয় ফ্রাক্টোজের 6-কার্বনের সহিত সংযুক্ত হইয়া প্রস্তুত হয়। এই জাতীয় ফ্রাক্টোজ্যান *Phleum pratense* নামক উদ্ভিদের মূলে অধিকমাত্রায় পরিলক্ষিত হয় বলিয়া এই জাতীয় ফ্রাক্টোজ্যানকে ফেলিন (phlein) বলা হয়।

ডালিয়া (dahlia), হাতিচোকের (artichoke) স্ফীতকন্দে এবং আইরিশ (*Iris*) কন্দ প্রভৃতি ভূনিম্নস্থ অঙ্গে সর্বাধিক ইনিউলিন সঞ্চিত থাকে। এই সমস্ত উদ্ভিদের বায়বীয় অঙ্গে সঞ্চিত খাদ্যরূপে শ্বেতসার অধিকমাত্রায় থাকে। গ্রামিণী গোত্রের উদ্ভিদের পাতায় শ্বেতসারের পরিবর্তে সঞ্চিত খাদ্যরূপে সুক্রোজ ও ফ্রাক্টোজ্যানের আধিক্য পরিলক্ষিত হয়। ঐ সমস্ত উদ্ভিদে শুধুমাত্র বর্ধনশীল বীজে শ্বেতসার সঞ্চিত হয়। একই উদ্ভিদের বিভিন্ন অঙ্গে পলিস্যাকারাইড সঞ্চয়ের এই বিভিন্নতা, কোষে উপস্থিত উৎসেচকের পরিমাণ ও প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল।

3. **সেলুলোজ** (Cellulose)ঃ উদ্ভিদকোষের প্রাথমিক ও গৌণ প্রাচীর সেলুলোজ (cellulose) নামক পলিস্যাকারাইড দ্বারা গঠিত। সুতি কাপড়ে শতকরা 90 ভাগ এবং কাগজ ও তক্তায় শতকরা 50 ভাগ সেলুলোজ পাওয়া যায়।

সেলুলোজ অণু 3000 হইতে 10,000 α- ও β-গ্লুকোজ অণু নির্মিত দীর্ঘ পলিস্যাকারাইড। α- ও β-গ্লুকোজ অণুদ্বারা প্রস্তুত বলিয়া α- ও β-সেলুলোজ বলা হয়। অ্যাসিড ও ক্ষারে ইহাদের দ্রাব্যতা বিভিন্ন। α- বা β-গ্লুকোজ অণুগুলি শৃঙ্খলিত হইয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশু (micro fibrils) সৃষ্টি করে। কোষ-প্রাচীরে সেলুলোজ অণুর অংশুগুলি বিভিন্ন কার্বোহাইড্রেট পলিমারের মধ্যে নিহিত থাকে।

সেলুলোজ শৃঙ্খলগুলি জলে এবং জৈব দ্রবণে অদ্রবণীয়। কিন্তু গাঢ় অ্যাসিডে বিশ্লেষিত হইয়া β-গ্লুকোজে পরিণত হয়। সেলুলেজ (cellulase) উৎসেচকদ্বারা সেলুলোজ বিশ্লেষিত হইলেও উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদে ইহারা অনুপস্থিত। কোষ প্রাচীরে সেলুলোজ সংশ্লেষিত হইবামাত্র বিশ্লেষণে বাধা-প্রদান করে।

বার্বার (Barber), এলবিন (Elbein) এবং হ্যাসিড (Hasid) 1964 খৃষ্টাব্দে সর্বপ্রথম উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদে সেলুলোজ সংশ্লেষের বিক্রিয়া নিরুপণ করেন।

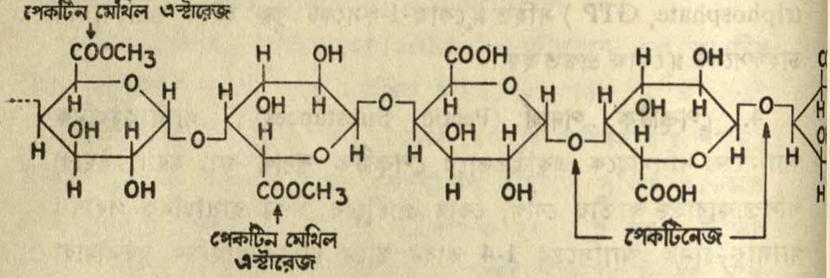
তাঁদের মতে গুয়ানোসিন ডাই ফসফো গ্লুকোজ (guanosine diphosphoglucose বা GDPG) সেলুলোজ সংশ্লেষের গ্লুকোজ দাতারূপে কার্য করে। UDPG এবং ADPG-এর ন্যায় গুয়ানোসিন ট্রাইফসফেটের (guanosine triphosphate, GTP) সহিত গ্লুকোজ-1-ফসফেট যুক্ত হইয়া গুয়ানোসিন ডাইফসফেট গ্লুকোজ প্রস্তুত হয়।

4. **পেক্‌টিক পদার্থ** (Pectic Substances)ঃ গ্যালাক্‌টুরনিক অ্যাসিডের পলিমারকে একত্রিতভাবে **পেক্‌টিক পদার্থ** বলা হয়। ইহারা পলিস্যাকারাইড জাতীয় যৌগ, কোষ প্রাচীরের অপর রাসায়নিক পদার্থ। গ্যালাক্‌টুরনিক অ্যাসিডের 1-4 কার্বন স্থানে গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনীদ্বারা পেক্‌টিক পদার্থ প্রস্তুত হয়। **পেক্‌টিক অ্যাসিড** (pectic acid) পেক্‌টিক পদার্থের মধ্যে সর্বাপেক্ষা সরল। প্রাথমিক কোষ প্রাচীরের মধ্য ল্যামেলায় পেক্‌টিক অ্যাসিড বিদ্যমান। 100টি গ্যালাক্‌টুরনিক অ্যাসিডের অশাখ (unbranched) শৃঙ্খল লইয়া পেক্‌টিক অ্যাসিড গঠিত। পেক্‌টিক অ্যাসিড নিজে জলে দ্রবণীয়, কিন্তু ক্যালসিয়াম (Ca^{++}) ও ম্যাগনেশিয়ামের (Mg^{++}) সহিত গ্যালাকটুরনিক অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গ যুক্ত হইয়া অদ্রবণীয় লবণ প্রস্তুত করে। অ্যামনিয়াম অক্সালেট (ammonium oxalate) দ্রবণে (ক্যালসিয়াম দ্রবীভূত হওয়ায়) ইহারা দ্রবণীয়।

গ্যালাক্‌টুরনিক অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গগুলি মেথিল বর্গ দ্বারা এস্টারীভূত হইয়া **পেক্‌টিন** (Pectin) প্রস্তুত হয়। সুতরাং পেক্‌টিক অ্যাসিডের আংশিক মেথিল এস্টারকে পেক্‌টিন বলে। পেক্‌টিন পেক্‌টিক অ্যাসিড অপেক্ষা দীর্ঘ শৃঙ্খলিত। প্রতি পেক্‌টিনে 200 বা আরও বেশী গ্যালাক্‌টুরনিক অ্যাসিড যুক্ত থাকে। পেক্‌টিন উষ্ণ জলে দ্রবণীয়। কোষপ্রাচীরের মধ্য ল্যামেলায়, প্রাথমিক কোষ প্রাচীরে এবং বিভিন্ন ফলে পেক্‌টিন সঞ্চিত থাকে।

তৃতীয় শ্রেণীর পেক্‌টিক পদার্থের নাম **প্রোটোপেক্‌টিন** (Protopectin)। প্রোটোপেক্‌টিন পেক্‌টিক অ্যাসিড ও পেক্‌টিন অপেক্ষা অধিক পলিমারভূত অবস্থায় বর্তমান, তাই ইহাদের আণবিক ওজনও অধিক। কার্বক্সিল বর্গের মেথিলেশনে (methylation) প্রোটোপেকটিন পেক্‌টিক অ্যাসিড ও পেক্‌টিনের মধ্যবর্তী। প্রোটোপেক্‌টিক উদ্ভিদকোষের প্রাথমিক প্রাচীরে বর্তমান।

কমলা ও আপেল ফলে ইহাদের মাত্রাধিক্য পরিলক্ষিত হয়। ইহা উষ্ণ জ অদ্রবণীয় যদিও উষ্ণ লঘু অ্যাসিডে প্রোটোপেক্‌টিন দ্রবীভূত হয়।



চিত্র 3 : পেক্‌টিক শৃঙ্খলের রাসায়নিক গঠন। তীর চিহ্নিত স্থানগুলিতে পেক্‌টিন-মেথিল এস্টারেজ ও পেকটিনেজ নামক উৎসেচকের কার্যস্থল চিহ্নিত করা হইয়াছে।

ফলের পরিপক্কতাকালে পেক্‌টিক পদার্থের পরিমাণের হ্রাসবৃদ্ধি পরিলক্ষি হয়। আপেল ফলের পরিপক্কতার শুরুতে প্রোটোপেক্‌টিনের পরিমাণ হ্রা পায় এবং পেক্‌টিনের পরিমাণ বৃদ্ধি ঘটে। কিন্তু অতি পরিপক্কতা কা প্রোটোপেক্‌টিন এবং ক্যালসিয়াম পেক্‌টেটের পরিমাণ হ্রাস পায়। ম ল্যামেলার পেক্‌টিন পদার্থের হ্রাসের ফলে কোষ প্রাচীরগুলি শ্লথ হয়।

UDP-গ্লুকোরনিক অ্যাসিড এপিমারেজ উৎসেচক দ্বারা UDP-গ্যালা টুরনিক অ্যাসিড প্রস্তুত হয়। এই UDP-গ্যালাক্‌টুরনিক অ্যাসিড পেক্‌টি পদার্থের দাতারূপে কার্য করে।

কোষে পেক্‌টিন মেথিল এস্টারেজ এবং পেকটিনেজ উৎসেচক দ্বারা বিশ্লি হইয়া পেক্‌টিক পদার্থের হ্রাস হয়। পেক্‌টিন মেথিল এস্টারেজ পেক্‌টিনে মেথিল বর্গকে বিচ্ছিন্ন করে এবং পেকটিনেজ গ্যালাক্‌টুরনিক অ্যাসিডে গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনীকে বিচ্ছিন্ন করিতে সাহায্য করে (চিত্র-3)। এ উৎসেচকগুলি কোষ পরিপক্কতা ও বার্দ্ধক্য কালে বিশেষ কার্যকারী হই কোষে পেক্‌টিক পদার্থের হ্রাস করিতে সাহায্য করে। রোগজনক ব্যাক্‌টিরি এবং কতিপয় ছত্রাকে উপরোক্ত উৎসেচকগুলি অধিক মাত্রায় সঞ্চিত থাকে এই সমস্ত উৎসেচক উদ্ভিদ কোষকে আক্রমণ করিয়া ব্যাক্‌টিরিয়াগুলি

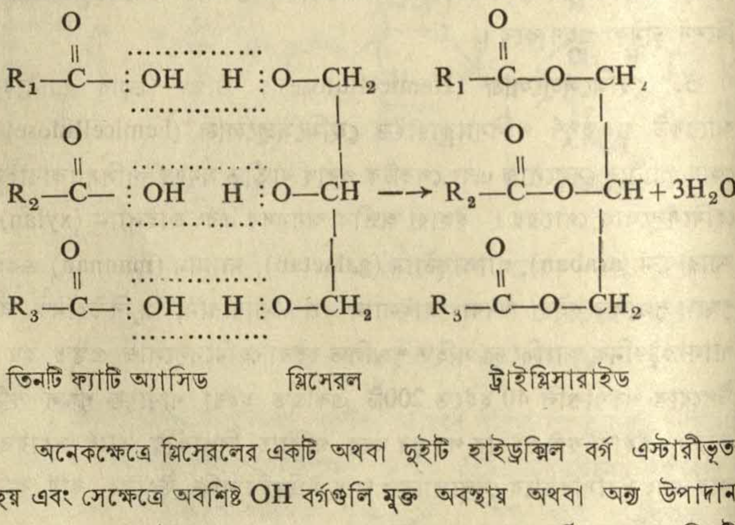
অগ্নপ্রবেশে সাহায্য করে। কতিপয় ব্যাক্‌টিরিয়ায় পলিগ্যালাক্‌টুরনেজ (polygalacturonases) নামক পেক্‌টিনেজ উৎসেচক আবিষ্কৃত হইয়াছে। অন্যান্য পেক্‌টিনেজ উৎসেচকের ন্যায় ইহারাও কোষ প্রাচীরের মধ্য ল্যামেলাকে দ্রব করিতে সাহায্য করে। নানাবিধ ফল ও সব্জি মৃতজীবী জীবাণু কর্তৃক আক্রান্ত হইলে সেই সমস্ত কোষের নমনীয়তার জন্য এই উৎসেচকটি একটি বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে।

5. **হেমিসেলুলোজ** (Hemicellulose)ঃ উদ্ভিদ কোষ প্রাচীরের আরেকটি গুরুত্বপূর্ণ পলিস্যাকারাইড **হেমিসেলুলোজ** (hemicellulose)। কোষ প্রাচীরে সেলুলোজ এবং পেক্‌টিক পদার্থ ব্যতীত সমুদয় পলিস্যাকারাইড হেমিসেলুলোজ গোত্রের। ইহারা অতীব অসমসত্ব এবং জাইল্যান্‌ (xylan), অ্যারাবান (araban), গ্যালাক্‌ট্যান (galactan), ম্যানান (mannan) একই শৃঙ্খলে শৃঙ্খলিত হইয়া অথবা জাইল্যান বা অ্যারাবান, গ্লুকিউরনিক বা গ্যালাক্‌টুরনিক অ্যাসিডের সহিত শৃঙ্খলিত হইয়া হেমিসেলুলোজ প্রস্তুত হয়। উপরোক্ত শর্করাগুলি 40 হইতে 200টি একত্রিত হইয়া শাখাযুক্ত শৃঙ্খল সৃষ্টি করে। ইহারা সৃষ্টি হইবার পর খুব মন্থর গতিতে বিপাকীয় কার্যে সহায়তা করে এবং সরাসরিভাবে সেলুলোজের ন্যায় উদ্ভিদের শক্তি উৎসের কার্য করে না। হেমিসেলুলোজ জলে অদ্রবণীয়।

II. **স্নেহপদার্থ** (Lipids)ঃ স্নেহপদার্থ প্রধানতঃ কার্বন ও হাইড্রোজেন সমন্বিত এবং জলে অদ্রবণীয় জৈব যৌগ। ইহারা ইথার, অ্যালকোহল, বেঞ্জিন এবং ক্লোরোফর্ম প্রভৃতি দ্রবণে দ্রবণীয়। **চর্বি ও তৈল** (fats and oils) উদ্ভিদের খাদ্যরূপে সঞ্চিত স্নেহজাতীয় পদার্থ। কোষপর্দা গঠনকারী স্নেহপদার্থে **ফসফোলিপিড** (phospholipids) ও **গ্লাইকোলিপিড** (glycolipid) থাকে। কোষের কিউটিকল্‌ রক্ষণকারী আবরণী সৃষ্টিকারী স্নেহপদার্থ সাধারণভাবে **মোম** (waxes) নামে পরিচিত।

ক. **চর্বি ও তৈল** (Fats and Oils)ঃ সাধারণ উষ্ণতায় যে সমস্ত স্নেহপদার্থ কঠিন অবস্থায় থাকে তাহাকে **চর্বি** (fats) এবং যে সমস্ত স্নেহপদার্থ তরল অবস্থায় থাকে তাহাকে **তৈল** (oils) বলা হয়। দীর্ঘ শৃঙ্খল ফ্যাটি অ্যাসিড (fatty acids) এবং 3-কার্বন যুক্ত গ্লিসেরল (glycerol) এস্টরীভূত হইয়া চর্বি ও তৈল প্রস্তুত করে। ফ্যাটি অ্যাসিডের কার্বক্সিল (COOH) বর্গ

গ্লিসেরল অণুর হাইড্রক্সিল (OH) বর্গের সহিত বিক্রিয়া করিয়া এস্টার প্রস্তত হয়। চর্বি ও তৈলে গ্লিসেরল অণুর তিনটি হাইড্রক্সিল বর্গই এস্টারীভূত হইয়া ট্রাইগ্লিসারাইড (triglyceride) প্রস্তত করে। গ্লিসেরল ফ্যাটি অ্যাসিড ও ট্রাইগ্লিসারাইডের রাসায়নিক গঠন নিম্নে দেওয়া হইল।

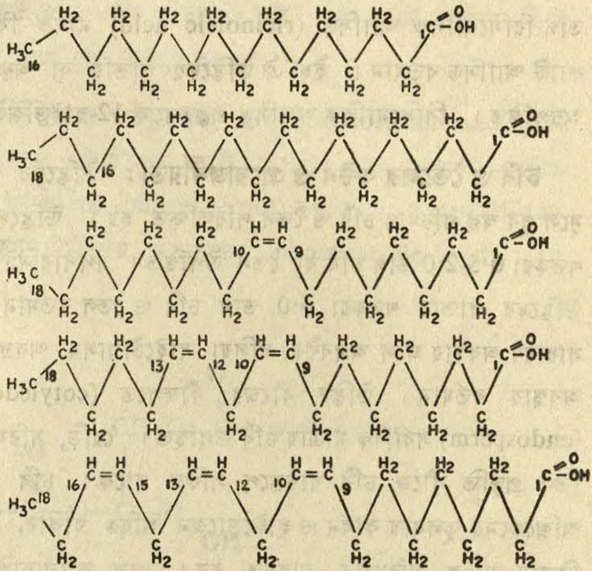


তিনটি ফ্যাটি অ্যাসিড গ্লিসেরল ট্রাইগ্লিসারাইড

অনেকক্ষেত্রে গ্লিসেরলের একটি অথবা দুইটি হাইড্রক্সিল বর্গ এস্টারীভূত হয় এবং সেক্ষেত্রে অবশিষ্ট OH বর্গগুলি মুক্ত অবস্থায় অথবা অন্য উপাদান (যেমন গ্যালাক্টোজ) দ্বারা যুক্ত থাকে। সাধারণভাবে চর্বির ক্ষেত্রে তিনটি বিভিন্ন ফ্যাটি অ্যাসিড OH বর্গের সহিত যুক্ত হয়। সমস্ত ফ্যাটি অ্যাসিডে যুগ্ম সংখ্যক কার্বন পরিলক্ষিত হয় এবং ফ্যাটি অ্যাসিড সম্পৃক্ত (saturated) অথবা অসম্পৃক্ত (unsaturated) উভয়ই হইতে পারে। ফ্যাটি অ্যাসিডের গলনাঙ্ক (melting point) ফ্যাটি অ্যাসিডের দৈর্ঘ্য এবং সম্পৃক্তকরণের উপর নির্ভরশীল। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, 16 বা 18 কার্বনবিশিষ্ট কঠিন চর্বির অ্যাসিডগুলি সম্পৃক্ত, অপরপক্ষে 16 বা 18 কার্বনবিশিষ্ট তৈলের অ্যাসিডগুলি দ্বিবন্ধনীযুক্ত (double bond) অর্থাৎ অসম্পৃক্ত।

উদ্ভিদে অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের মধ্যে 18-কার্বনবিশিষ্ট ওলিক অ্যাসিড (oleic acid), লাইনোলিক অ্যাসিড (linoleic acid), এবং লাইনোলেনিক অ্যাসিড (linolenic acid) উল্লেখযোগ্য। ওলিক অ্যাসিডে একটি, লাইনোলিক অ্যাসিডে দুইটি এবং লাইনোলেনিক অ্যাসিডে তিনটি দ্বিবন্ধনী (double bond) থাকে।

ওলিক এবং লাইনোলিক অ্যাসিড সাধারণতঃ বীজে এবং লাইনোলেনিক অ্যাসিড পাতায় অধিক মাত্রায় পরিলক্ষিত হয়। উদ্ভিদের বিভিন্ন ফ্যাটি



চিত্র-4 : বিভিন্ন প্রকার উদ্ভিদ ফ্যাটি অ্যাসিডের রাসায়নিক গঠন।

অ্যাসিডের কার্বনসংখ্যা, গঠন এবং দ্বিবন্ধনীর অবস্থান এবং সম্পৃক্তকরণ চিত্র-4 দেওয়া হইল। উপরোক্ত চিত্রে দুইটি বিষয় বিশেষ উল্লেখযোগ্য।

(ক) দ্বিবন্ধনীগুলি সংযুক্ত (conjugated) থাকে না এবং সর্বদা CH_2 বর্গদ্বারা পৃথক।

(খ) ফ্যাটি অ্যাসিডের প্রথম দ্বিবন্ধনী কার্বনের 9-10-এর মধ্যে, দ্বিতীয় দ্বিবন্ধনী কার্বন 12-13র মধ্যে এবং তৃতীয় দ্বিবন্ধনী কার্বনের 15-16 কার্বন স্থানে অবস্থিত।

পামিটিক (palmitic acid) এবং স্টেয়ারিক (stearic acid) অ্যাসিডগুলি সম্পৃক্ত। পামিটিক অ্যাসিড 16 কার্বন এবং স্টেয়ারিক অ্যাসিড 18 কার্বন সমন্বিত। উপরোক্ত আসিডগুলি উদ্ভিদ ও প্রাণীর উল্লেখযোগ্য ফ্যাটি অ্যাসিড। নারিকেল চর্বিতে 12-কার্বন সমন্বিত লরিক অ্যাসিড

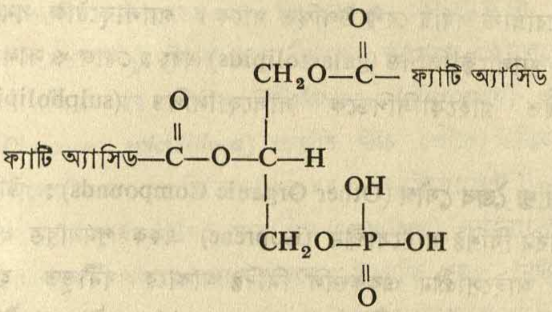
(lauric acid) বিদ্যমান। অনেকক্ষেত্রে উদ্ভিদ ও প্রাণী চর্বিতে গ্লিসেরলের প্রথম ও তৃতীয় হাইড্রক্সিল বর্গে সম্পৃক্ত এবং দ্বিতীয় হাইড্রক্সিল বর্গে অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড যুক্ত থাকে। রেড়ি বীজে (castor beans) শতকরা 80-90 ভাগ রিসিনোলিক অ্যাসিড (ricinoleic acid) নামক বিশেষ একপ্রকার ফ্যাটি অ্যাসিড বর্তমান। ইহা ঐ উদ্ভিদের পাতায় বা অন্য উদ্ভিদে সম্পূর্ণ অনুপস্থিত। রিসিনোলিক অ্যাসিড প্রকৃতপক্ষে 12-হাইড্রক্সিওলিক অ্যাসিড।

চর্বি ও তৈলের বন্টন ও প্রয়োজনীয়তা: উদ্ভিদের পাতা, কাণ্ড ও মূলে খুব স্বল্প পরিমাণ চর্বি ও তৈল পরিলক্ষিত হয়। উদ্ভিদের শুষ্ক ওজনের শতকরা 0·5-2·0 ভাগ চর্বি বা তৈল উপস্থিত। পিপারমিট (peppermint) উদ্ভিদের পাতায় শতকরা 5·0 ভাগ চর্বি ও তৈল বর্তমান। চর্বি ও তৈল সাধারণ অবস্থায় জলে অদ্রবণীয় বলিয়া সাইটোপ্লাসম অবদ্রব (emulsion) অবস্থায় বর্তমান। উদ্ভিদ বীজের বীজপত্রে (cotyledons) বা সস্যে (endosperm) সর্বাধিক মাত্রায় চর্বি উপস্থিত। রেড়ি, সরিষা, চীনাবাদাম, তিল প্রভৃতি বীজে চর্বি খাদ্যরূপে সঞ্চিত থাকে। চর্বি ও তৈল অণুতে অক্সিজেনের তুলনায় কার্বন ও হাইড্রোজেন অধিক থাকায়, ঐ অণুর জারণ ক্রিয়ায় অধিক অক্সিজেন ব্যবহৃত হয়। ফলে কার্বোহাইড্রেটের তুলনায় চর্বি অধিকতর বিজারিত সুতরাং চর্বির জারণকালে অধিক ATP প্রস্তুত হয়। সরিষা, তৈল প্রভৃতি অনেক ক্ষুদ্র বীজে প্রাথমিক সঞ্চিত খাদ্যরূপে চর্বি বা তৈল সঞ্চিত থাকে। অঙ্কুরোদ্গমনের সময় চারাগাছকে স্থিতি করিবার জন্য চর্বি ও তৈল শ্বসন ক্রিয়ায় অধিক শক্তি উৎপাদিত করিয়া থাকে। অপরপক্ষে কলাই এবং শস্যদানায় স্বল্পমাত্রায় চর্বি ও তৈল সঞ্চিত থাকে। এদের সঞ্চিত খাদ্য প্রধানতঃ কার্বোহাইড্রেট।

উদ্ভিদ তৈলের বাণিজ্যিক গুরুত্ব বিশেষ পরিলক্ষিত হয়। খাদ্য হিসাবে এদের প্রধান প্রয়োজন হইলেও ইহারা মাখনের বিকল্প এবং রন্ধন তৈলরূপে ব্যবহৃত হয়। উদ্ভিদ তৈল উদ্জানিত (hydrogenated) করিয়া ডাল্ডা (dalda) ইত্যাদি রন্ধন তৈল প্রস্তুত হয়। উদ্ভিদ তৈলে সূক্ষ্ম নিকেল চূর্ণ অনুঘটকরূপে ব্যবহার করিয়া তাহাতে হাইড্রোজেন গ্যাস চালনা করিলে উদ্ভিদ তৈল উদ্জানিত হয়। এই প্রক্রিয়ায় ওলিক, লাইনোলিক এবং লাইনোলেনিক অ্যাসিডগুলির দ্বিবন্ধনী সম্পৃক্তিকৃত হয়। রন্ধন ব্যতীত

উদ্ভিদ তৈল রং শিল্পেও ব্যবহৃত হইয়া থাকে। তিসি বীজের তৈলের (linseed oil) ফ্যাটি অ্যাসিডের (লাইনোলেনিক অ্যাসিড) পাত্‌লা আবরণ অক্সিজেনের সংস্পর্শে পারক্সাইড (H_2O_2) প্রস্তুত করে। ঐ পারক্সাইড অতঃপর পলিমারভূত হইয়া কঠিন আবরণের সৃষ্টি করে। এই কারণে তিসি তৈল রং ও ভার্নিশ শিল্পে বহুল ব্যবহৃত হয়।

খ. **ফস্‌ফোলিপিড ও গ্লাইকোলিপিড** (Phospholipids and glycolipids): গ্লিসেরল এস্টারীভূত ফ্যাটি অ্যাসিড এবং ফস্‌ফেট সমন্বিত স্নেহপদার্থকে **ফস্‌ফোলিপিড** (phospholipid) বলা হয়। ফস্‌ফোলিপিডের বিশেষ উপাদান ফস্‌ফাটাইডিক অ্যাসিডের (phosphatidic acid) গঠন নিম্নে দেখান হইল।



ফস্‌ফাটাইডিক অ্যাসিড

ফস্‌ফাটাইডিক অ্যাসিডের ফস্‌ফেট বর্গটি কোলিন [Cholin, HO—CH_2—CH_2—$N^+(CH_3)_3$] দ্বারা এস্টারীভূত হইয়া **লেসিথিন** (lecithin), ইথাইল অ্যামাইনের (ethanolamine) অথবা সেরিনের (serine) হাইড্রক্সিল বর্গ দ্বারা এস্টারীভূত হইয়া **কেফালিন** (cephalin), অতিরিক্ত একটি গ্লিসেরল ফস্‌ফেট দ্বারা এস্টারীভূত হইয়া **ফসফাটাইডিল গ্লিসেরল** (phosphatidyl glycerol) এবং ইনোসিটল (inositol) নামক শর্করা অ্যালকোহলের সহিত ফস্‌ফেট এস্টারীভূত হইয়া **ফসফাটাইডিল ইনোসিটল** (phosphatidyl inositol) প্রস্তুত হয়। ইনোসিটল শর্করা অ্যালকোহলের সহিত হেক্সাফস্‌ফরিক অ্যাসিড যুক্ত হইয়া ফাইটিক অ্যাসিড (phytic acid)

এবং ইহার ক্যালসিয়াম-ম্যাগনেশিয়াম লবণকে **ফাইটিন** (phytin) বলা হয়।

ফস্‌ফোলিপিডে ফ্যাটি অ্যাসিড যুক্ত থাকিলে তাহারা জলে অদ্রবণীয়, কিন্তু কোলিন, ইথানল অ্যামাইন, সেরিন, ইনোসিটল, গ্লিসেরল যুক্ত থাকিলে ইহারা জলে দ্রবণীয় হয়। মাইটোকন্‌ড্রিয়া, ক্লোরোপ্লাস্ট, এণ্ডোপ্লাসমিক রেটিকিউলাম প্রভৃতি কোষস্থ অঙ্গের পর্দা, টোনোপ্লাস্ট, প্লাস্‌মালেমা এবং নিউক্লীয় পর্দা ফস্‌ফোলিপিড সমন্বিত।

ফস্‌ফেটের পরিবর্তে গ্লিসেরলের প্রান্তীয় হাইড্রক্সিল (OH) বর্গটিতে গ্যালাক্‌টোজ বা গ্লুকোজ জাতীয় কার্বোহাইড্রেট যুক্ত হইয়া **গ্লাইকোলিপিড** (glycolipids) প্রস্তুত হয়। উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষকারী অঙ্গে ফস্‌ফোলিপিড অপেক্ষা গ্লাইকোলিপিড অধিক মাত্রায় পরিলক্ষিত হয়। গ্লাইকোলিপিড ক্লোরোপ্লাস্ট পর্দায় বেশী উপস্থিত থাকে। গ্যালাক্‌টোজ সমন্বিত গ্লাইকোলিপিডে গ্যালাক্টোলিপিড (galactolipids) এবং গ্লুকোজ ও সালফার (গন্ধক) সমন্বিত গ্লাইকোলিপিডকে সালফোলিপিড (sulpholipids) বলা হয়।

III. অন্যান্য জৈব যৌগ (Other Organic Compounds) : উদ্ভিদে কতকগুলি 5-কার্বন বিশিষ্ট আইসোপ্রীন (isoprene) একক পুনরাবৃত্ত হইয়া সৃষ্টি হয়। এই আইসোপ্রীন এককগুলি নির্দিষ্ট আকারে ঘনীভূত হইয়া **স্টেরয়েড** (steroids), **ক্যারটিনয়েড** (carotenoids), **টারপেনটাইন** (turpentine) এবং **রবার** (rubber) প্রভৃতি যৌগের উৎপত্তি হয়। আইসোপ্রীন প্রাকৃতিকভাবে পাওয়া না গেলেও উদ্ভিদে মেভালনিক অ্যাসিড (mevalonic acid) কার্বন ও জল বিয়োজন এবং ATP দ্বারা ফস্‌ফেট যুক্ত হইয়া আইসোপেণ্টীনিল পাইরোফস্‌ফেট (isopentenyl pyrophosphate) প্রস্তুত হয়। এই আইসোপেণ্টীনিল পাইরোফস্‌ফেট হইতেই বিভিন্ন যৌগগুলি প্রস্তুত হয়। প্রতি আইসোপ্রীন এককের মস্তক ও পুচ্ছ অংশের পুনরাবৃত্তি ঘটে।

$$\text{(মস্তক)}-CH=\overset{\overset{\displaystyle CH_3}{|}}{C}-CH=CH-\text{(পুচ্ছ)}$$

আইসোপ্রীন একক

আইসোপ্রীন উদ্ভূত যৌগগুলি অধিকাংশই অ্যালকোলয়েডের ন্যায় বিপাকীয় উপজাতরূপে (byproducts) উদ্ভিদে সঞ্চিত থাকে। ক্যারটিনয়েড ব্যতীত ইহাদের সঠিক কার্য এখনও অজ্ঞাত। অধিকাংশ যৌগেরই বাণিজ্যিক গুরুত্ব বিদ্যমান।

ক. **স্টেরয়েডস** (Steroids) : অধিকাংশ স্টেরয়েড 27-29 কার্বন বিশিষ্ট এবং যেগুলিতে হাইড্রক্সিল বর্গ বর্তমান তাহাদের **স্টেরল** (sterols) বলা হয়। ব্যাক্টেরিয়া ও নীলাভ-সবুজ শৈবাল ব্যতীত সমস্ত উদ্ভিদে স্টেরল উপস্থিত। ইহারা মুক্ত বা গ্লাইকসাইড (glycosides) রূপে উপস্থিত থাকে।

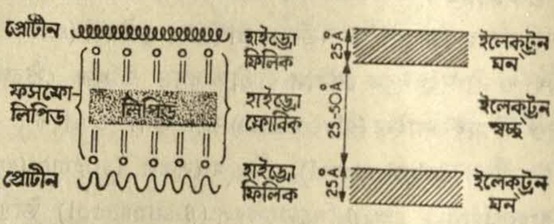
কোলেস্টেরল (cholesterol), স্টিগ্‌মাস্টেরল (stigmasterol), আর্গস্ট্রেরল (ergosterol) এবং β-সিটোস্টেরল (β-sitosterol) উদ্ভিদের বিশেষ কতকগুলি স্টেরয়েডস-এর উদাহরণ। কোলেস্টেরল প্রাণীতে উপস্থিত থাকিলেও 1958 খৃষ্টাব্দে লাল শৈবালে সর্বপ্রথম্ কোলেস্টেরলের উপস্থিতি পরিলক্ষিত হয়। আলু (*Solanum tuberosum*) এবং ডায়াস্কোরিয়া (*Dioscorea spiculiflora*) প্রভৃতি উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদে 1963 খৃষ্টাব্দে কোলেস্টেরলের উপস্থিতি লক্ষিত হয়। আইসোপেণ্টীনিল পাইরোফস্‌ফেট হইতে 30-কার্বন বিশিষ্ট স্কোয়ালিন (squalene), ল্যানোস্টেরল (lanosterol) এবং পরবর্তী পর্যায়ে কোলেস্টেরলের উৎপত্তি হয়। নিউরোস্পোরা (*Neurospora*), ঈষ্ট (yeast) প্রভৃতি কতিপয় ছত্রাকে আর্গস্টেরল পাওয়া যায়, যদিও উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদে বিশেষ পরিলক্ষিত হয় না।

ডিজিট্যালীন (digitalin) নামক একপ্রকার স্টেরয়েড হৃৎ-চিকিৎসায় ব্যবহৃত হয়।

একক পর্দা (Unit Membrane) : জীবকোষের টোনোপ্লাস্ট, প্লাস্‌মালেমা, নিউক্লীয় পর্দা এবং প্লাসটিড, মাইটোকন্‌ড্রিয়া, এণ্ডোপ্লাস্‌মিক রেটিকিউলাম প্রভৃতি কোষস্থ অঙ্গের পর্দা তন্ত্র-সমন্বিত (membrane system)। কোষের সমস্ত পর্দা একটি সাধারণ গঠন বৈশিষ্ট্যযুক্ত এবং **একক পর্দা** (unit membrane) নামে অভিহিত। নিম্নে (চিত্র-5) একক পর্দার একটি গঠন বৈচিত্র্য দেখানো হইল।

দুইটি প্রোটীনস্তরের মধ্যে দুইটি স্নেহ পদার্থের স্তর বিদ্যমান। স্নেহ পদার্থের মেরুদণ্ড হাইড্রোফিলিক (hydrophilic) অংশটি সর্বদা প্রোটীনের

দিকে প্রোথিত। অন্য দিক অর্থাৎ লাইপোফিলিক (lipophilic) অংশটি অন্য লিপিড স্তরের দিকে সরাসরিভাবে অভিক্ষিপ্ত। কোষ পর্দার স্নেহ পদার্থের স্তরটি প্রাণীর ক্ষেত্রে কোলেস্টেরল এবং সালফোলিপিড বিশিষ্ট। উদ্ভিদের ক্ষেত্রে এই পর্দা সিটোস্টেরল, স্পিনোস্টেরল এবং স্টিগমাস্টেরল প্রভৃতি



চিত্র-5 : উদ্ভিদ কোষের একক পর্দার গঠন

ফাইটোস্টেরল, লেসিথিন নামক ফস্‌ফোলিপিড, গ্লাইকোলিপিড এবং সালফোলিপিড সমন্বিত।

খ. **ক্যারটিনয়েড** (Carotenoids) : ক্যারটিনয়েডের বিশদ আলোচনার জন্য সপ্তম অধ্যায় দ্রষ্টব্য। হাইড্রোকার্বন যুক্ত **ক্যারটিন** (carotene) ও হাইড্রোকার্বনের সহিত অক্সিজেনযুক্ত **জ্যান্থোফিল** (xanthophyll) একত্রিত-ভাবে ক্যারটিনয়েড নামে অভিহিত। ক্যারটিন ও জ্যান্থোফিল উভয়ই আইসোপ্রীনয়েড এককদ্বারা গঠিত। ইহারা জলে অদ্রবণীয় কিন্তু পেট্রোল ইথার, শতকরা 80 ভাগ অ্যাসিটোন প্রভৃতি দ্রবণে দ্রবণীয়। উদ্ভিদকোষে প্রায় 80টি বিভিন্ন ক্যারটিনয়েড উপস্থিত এবং ইহারা 40-কার্বন বিশিষ্ট। ক্যারটিনের মধ্যে **β-ক্যারটিন** (β-carotene) এবং জ্যান্থোফিলের মধ্যে **লিউটিন** (lutein) উদ্ভিদ কোষের বিশেষ ক্যারটিনয়েড। টমেটো ফলের লাল রঞ্জক পদার্থ লাইকোপেন (lycopene) নামক একটি বিশেষ ক্যারটিনয়েড।

সালোকসংশ্লেষে অংশগ্রহণ করা এবং ক্লোরোফিলের আলোকজারণে (photooxidation) বাধা প্রদান করা ক্যারটিনয়েডের বিশেষ কার্য (বিশদ বিবরণের জন্য সপ্তম অধ্যায় দ্রষ্টব্য)। ক্যারটিনয়েড উদ্ভিদের ফোটোট্রপিজম্‌ (phototropism) নামক চলনের আলোকগ্রাহকের (photoreceptors) কার্য করে।

গ. **বিবিধ আইসোপ্রীনয়েড এবং উদ্বায়ী তৈল** (Miscellaneous isoprenoids and essential oils) : এই অংশে উদ্ভিদের বিবিধ চক্রাকার আইসোপ্রীনয়েডগুলির বর্ণনা করা হইয়াছে। ইহারা 10, 15, 20, 35 এবং 40-কার্বনবিশিষ্ট চক্রাকার আইসোপ্রীনয়েড। 10 এবং 15-কার্বন সমন্বিত আইসোপ্রীনয়েডগুলি **উদ্বায়ী তৈল** (essential oil) নামে পরিচিত। এই তৈলগুলি সুগন্ধযুক্ত। পাইনের বিশেষ কোষে উৎপাদিত **টারপেনটাইন** (turpentine) একটি বিশেষ উদ্বায়ী তৈল। পিপারমিন্ট তৈলের মেনথল (menthol) এবং মেনথন (menthone) নামক হাইড্রক্সিলযুক্ত পদার্থগুলি অপর উদ্বায়ী তৈলের উদাহরণ। কিন্তু যুঁই এবং কমলার উদ্বায়ী তৈল আইসোপ্রীনযুক্ত নয়।

জিমনোস্পার্মের **রেজিন** (resin) 20 এবং 30-কার্বনবিশিষ্ট আইসো-প্রীনয়েড। জিমনোস্পার্মের বিশেষ রেজিন-কোষে রেজিন সঞ্চিত থাকে।

ক্লোরোফিল অণুর ফাইটল অ্যালকোহল 20-কার্বনবিশিষ্ট আইসো-প্রীনয়েড।

ঘ. **রবার** (Rubber) : 3000 হইতে 6000 আইসোপ্রীন এককযুক্ত দীর্ঘ শৃঙ্খলিত যৌগকে **রবার** (rubber) বলা হয়। হিভিয়া ব্রেজিলেনসিস (*Hevea brasilliensis*) নামক উদ্ভিদে প্রাকৃতিক রবার উৎপন্ন হয়।

ঙ. **জিব্বারেলীন** (Gibberellins) : আইসোপ্রীনয়েড যৌগের বিশেষ উদ্ভিদ বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রকের (হরমোন) নাম **জিব্বারেলীন** (gibberellins)। ছত্রাক এবং বিভিন্ন উদ্ভিদ গোষ্ঠীতে কমবেশী প্রায় 50 প্রকার বিভিন্ন জিব্বারেলীন আবিষ্কৃত হইয়াছে। একটি প্রধান জিব্বারেলীনকে জিব্বারেলীক অ্যাসিড (gibberellic acid) বলে। বিভিন্ন জিব্বারেলীন সংখ্যা চিহ্নদ্বারা নির্ণীত হয় (যেমন GA_1, GA_2, GA_3 ইত্যাদি)।

জিব্বারেলীনের বিশদ বিবরণ ষোড়শ অধ্যায়ে দ্রষ্টব্য।

তৃতীয় অধ্যায়

অ্যামাইনো অ্যাসিড, প্রোটীন ও নিউক্লিক অ্যাসিড

(Amino Acids, Proteins and Nucleic Acids)

ক. অ্যামাইনো অ্যাসিড (Amino acids)ঃ বিশুদ্ধ প্রোটীনকে রাসায়নিক বা উৎসেচক-সাহায্যে সম্পূর্ণ আর্দ্র বিশ্লেষণ (hydrolysis) করিলে অ্যামাইনো অ্যাসিড পাওয়া যায় বলিয়া অ্যামাইনো অ্যাসিডকে প্রোটীনের মৌলিক গঠনের এককরূপে গণ্য করা হয়। প্রোটীনকে 6N হাইড্রক্লরিক অ্যাসিডে 18-24 ঘন্টা আর্দ্র বিশ্লেষণ করিলে তাহাদের সাংগঠনিক (constituent) অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি পৃথক হইয়া পড়ে। ট্রিপটোফেন ব্যতীত সমস্ত প্রাকৃতিক অ্যামাইনো অ্যাসিড উপরোক্ত অ্যাসিড বিক্রিয়ায় অপরিবর্তনীয়। উষ্ণ ক্ষারীয় পরিবেশে (2N NaOH) প্রোটীন আর্দ্র-বিশ্লেষিত হইলেও এসব ক্ষেত্রে অধিকাংশ অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি নষ্ট হয়। তাই প্রোটীনের সাংগঠনিক অ্যামাইনো অ্যাসিড নিরূপণের জন্য অ্যাসিড আর্দ্র বিশ্লেষণ পদ্ধতিটি বিশেষ কার্যকারী।

অ্যামাইনো অ্যাসিডের সাধারণ রাসায়নিক সংকেতটি নিম্নরূপ।

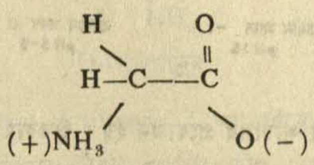
```
        NH2
         |
R—αC—COOH
         |
         H
```

অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গটি α-কার্বনের সহিত যুক্ত বলিয়া ইহাদের α-অ্যামাইনো অ্যাসিড বলা হয়। অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের আম্লিক (acidic) ধর্মের জন্য দায়ী। অ্যাসপারটিক ও গ্লুটামিক অ্যাসিডে দুইটি কার্বক্সিল বর্গ থাকায় ইহারা অধিক আম্লিক। অপরপক্ষে, অ্যামাইনো বর্গের উপস্থিতির জন্য ইহারা ক্ষারীয় (basic) ধর্মাবলম্বী। আরজিনিন, লাইসিন ও হিস্টিডিনে একাধিক অ্যামাইনো বর্গ থাকায় ইহারা অধিক ক্ষারীয় (alkoline)। উপরোক্ত অ্যামাইনো

অ্যাসিড ব্যতীত অধিকাংশ অ্যামাইনো অ্যাসিডে কার্যকারী কার্বক্সিল ও অ্যামাইনো বর্গ সমসংখ্যক থাকায় ইহারা প্রশমিত (neutral)।

সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম প্রশমিত অ্যামাইনো অ্যাসিডের নাম গ্লাইসিন (glycine)। গ্লাইসিন দ্রবণের pH 6 এবং এই pH-এ গ্লাইসিনের কার্বক্সিল বর্গের হাইড্রোজেন মুক্ত হওয়ায় ইহা ঋণ (−) আধান প্রাপ্ত হয়; অপরপক্ষে অ্যামাইনো বর্গটি হাইড্রোজেন যুক্ত হইয়া ধন (+) আধান প্রাপ্ত হয়।

CH_2NH_2COOH =
(গ্লাইসিন)

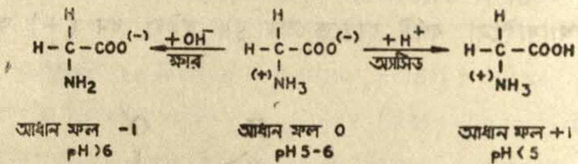


আমাইনো অ্যাসিডের এই আয়ণিত (ionized) অবস্থাকে **দ্বিমেরুসম্পন্ন আয়ন** (dipolar ion) বা **জুইটেরায়ণ** (Zwitterion) বলা হয়। সুতরাং প্রশমিত অ্যামাইনো অ্যাসিডে দ্বিমেরুসম্পন্ন আয়ণগুলির আধানের কোন তারতম্য না হওয়ার বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের (electrical field) ক্যাথোড বা অ্যানোডের কোন দিকেই ধাবিত হয় না সুতরাং এক্ষেত্রে নীট আধান (net charge) শূন্য (0)।

pH নিয়ন্ত্রিত করিয়া গ্লাইসিন বা অন্যান্য আমাইনো অ্যাসিডকে বিভিন্ন অবস্থায় পরিণত করা সম্ভব। উপরোক্ত প্রশমিত গ্লাইসিন দ্রবণ অ্যাসিড দ্বারা অম্লমাপন বা টাইট্রেশন (titration) করিলে প্রোটন (H^+) গ্রহণ করিয়া ইহা ধন (+) আধানপ্রাপ্ত হয় এবং এদের আধানের ফলাফল (net charge) +। এই অবস্থায় ইহা বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের ঋণ (−) আধানপ্রাপ্ত ক্যাথোডের দিকে ধাবিত হয়। অপরপক্ষে, ক্ষার প্রয়োগ করিলে আমাইনো বর্গের হাইড্রোজেনটি মুক্ত হইয়া জলে পরিণত হয় এবং আমাইনো অ্যাসিডটি ঋণ (−) আধানপ্রাপ্ত হয়। এই অবস্থায় ইহার নীট আধান (net change) −এবং তাড়িতক্ষেত্রে অ্যানোডের দিকে ধাবিত হয়।

যে pH মাধ্যমে আমাইনো অ্যাসিডে আধানের কোনরূপ তারতম্য হয় না তাহাকে **সমবৈদ্যুতিক বিন্দু** (isoelectric point) বলা হয়। সমবৈদ্যুতিক বিন্দুর সাংকেতিক চিহ্ন (pI। গ্লুটামিক ও অ্যাসপারটিক প্রভৃতি

আম্লিক অ্যাসিডের ক্ষেত্রে pI-এর মান খুবই কম কারণ ইহাদের অতিরিক্ত কার্বক্সিল বর্গের উপশমের জন্য অধিক হাইড্রোজেন আয়ণের প্রয়োজন। অপরপক্ষে লাইসিন, আরজিনিন প্রভৃতি ক্ষারীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডে অতিরিক্ত অ্যামাইনো বর্গ হইতে হাইড্রোজেনকে মুক্ত করিতে অধিক

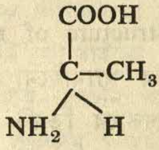


হাইড্রক্সিল আয়ণের প্রয়োজন হয়। সুতরাং সেক্ষেত্রে pI-এর মান অপেক্ষাকৃত অধিক। প্রশমিত অ্যামাইনো অ্যাসিডের pI 5-6, আম্লিক অ্যামাইনো অ্যাসিডের pI 3 এবং ক্ষারীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডের pI 7·5-এর বেশী। যেহেতু একটি প্রোটীন অণু কতকগুলি অ্যামাইনো অ্যাসিডের দ্বারা প্রস্তুত একটি যৌগ, প্রোটীনের সমবৈদ্যুতিক বিন্দু তাহাদের অ্যামাইনো অ্যাসিডের আপেক্ষিক পরিমাণের উপর নির্ভরশীল। প্রোটীনের সমবৈদ্যুতিক বিন্দু প্রোটীন শোধনের (purification) পক্ষে বিশেষ প্রয়োজনীয়। যেহেতু উৎসেচকেরা প্রোটীন উৎসেচকের অ্যামাইনো বা কার্বক্সিল বর্গের আধানের ভিত্তিতে সহউৎসেচক (co enzyme) বা ধাতু সক্রিয়কারকগুলি (metal-activator) যুক্ত হয় বলিয়া উৎসেচকের কার্যকারিতা pH দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। প্রোটীনের সমবৈদ্যুতিক বিন্দুতে তাহাদের দ্রবণীয়তা (solubility) এবং সান্দ্রতা (viscosity) সর্বাপেক্ষা কম।

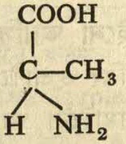
গ্লাইসিন ব্যতীত অ্যামাইনো অ্যাসিডের ∝-কার্বনের সহিত চারিটি বিভিন্ন বর্গ সংযোজিত হয়। এই জাতীয় কার্বন পরমাণুকে অপ্রতিসম (asymmetric) কার্বন পরমাণু বলা হয়। অপ্রতিমসম কার্বন পরমাণুযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড সরল সমবর্তিত আলোকে (polarised light) চক্রাকারে আবর্তিত (rotate) হইতে পারে।

উদ্ভিদ ও প্রাণীর অ্যামাইনো অ্যাসিড অ্যামাইনো বর্গের এবং ∝-কার্বন স্থানে হাইড্রোজেনের অবস্থানের উপর অ্যামাইনো অ্যাসিডের বৈশিষ্ট্য নির্ভর

করে। ∝-কার্বনের বাঁদিকে অ্যামাইনো বর্গ এবং ডানদিকে হাইড্রোজেন যুক্ত থাকিলে সেই সমস্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডকে বড় অক্ষরের L দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। হাইড্রোজেন ও অ্যামাইনো বর্গের বিপরীত অবস্থান (অর্থাৎ D-গ্লিসার‍্যালডিহাইডে হাইড্রোজেন বাঁ দিকে থাকায়) D-অ্যামাইনো অ্যাসিডে পরিলক্ষিত হয়।



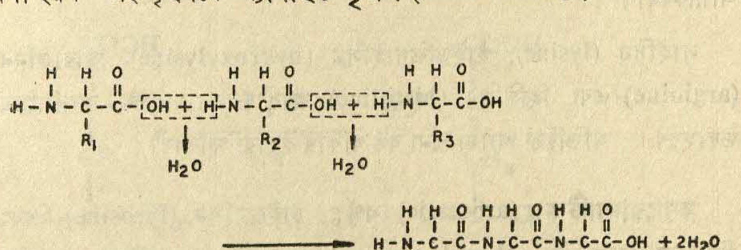
L-অ্যালানিন



D-অ্যালানিন

উদ্ভিদের অধিকাংশ অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি L-অ্যামাইনো অ্যাসিড। ব্যাক্‌টিরিয়া কর্তৃক প্রস্তুত কতিপয় জীবাণু প্রতিরোধীর (antibodies) অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি D-বর্গের। প্রকৃতপক্ষে D-বর্গটি L-বর্গের দর্পণ প্রতিবিম্বরূপ (mirror image)।

পেপটাইড বন্ধনী (Peptide bond) ঃ 1902 খৃষ্টাব্দে ফিশার (Fischer) এবং হফ মাইষ্টার (Hofmeister) পৃথকভাবে উল্লেখ করেন যে প্রতি প্রোটীনে একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গের সহিত অপর অ্যামাইনো অ্যাসিডের ∝-অ্যামাইনো বর্গ যুক্ত থাকে ; ফলে এক অণু জল মুক্ত হয়। অ্যামাইনো অ্যাসিডের এই বন্ধনীকে **পেপটাইড বন্ধনী** (peptide bond) বলা হয়। এই শৃঙ্খলকে **অ্যামাইড শৃঙ্খল** (amide linkage) বলা হয়।



R_1, R_2 এবং R_3 অ্যামাইনো অ্যাসিডের একই বা ভিন্ন মূলক (groups)। পেপটাইড বন্ধনীর একটি অ্যামাইনো অ্যাসিড অ্যাসপারটিক অ্যাসিড (দুটি

কার্বক্সিল ও একটি অ্যামাইনো বর্গ যুক্ত) হইলে অ্যামাইনো বর্গের নিকটস্থ কার্বক্সিল বর্গটি পেপটাইড বন্ধনীতে ব্যবহৃত হয় এবং সেক্ষেত্রে প্রোটীনের আম্লিক ধর্ম পরিলক্ষিত হয়। অপরপক্ষে, লাইসিন ও আরজিনিনের (একটি কার্বক্সিল ও একটি অ্যামাইনো বর্গ যুক্ত) ক্ষেত্রে দূরবর্তী কার্বক্সিল বর্গটি মুক্ত থাকে এবং সেক্ষেত্রে প্রোটীন ক্ষারধর্মী হয়।

প্রাকৃতিক অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন (Structure of natural amino acids) : উদ্ভিদ ও প্রাণীদেহে 20টি বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিড পরিলক্ষিত হয়। অ্যামাইনো অ্যাসিডকে সাধারণভাবে তিনটি বিভাগে বিভক্ত করা যায় যেমন, অ্যালিফ্যাটিক (aliphatic), অ্যারোম্যাটিক (aromatic) এবং ভিন্নচক্রী (hetero cyclic)।

অ্যালিফ্যাটিক (aliphatic) **বর্গ** : গ্লাইসিন (glycin), অ্যালানিন (alanine), ভ্যালিন (valine), লিউসিন (leucine), আইসোলিউসিন (isoleucine), সেরিন (serine) এবং থ্রিয়োনিন (threonine) অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি একটি কার্বক্সিল ও একটি অ্যামাইনো বর্গ সমন্বিত।

সিষ্টিন (cystine), সিস্টাইন (cysteine), এবং মিথায়োনিনে (methionine) কার্বক্সিল ও অ্যামাইনো বর্গ ব্যতীত গন্ধক (sulphur) উপস্থিত।

গ্লুটামিক অ্যাসিড (glutamic acid) এবং অ্যাসপারটিক অ্যাসিডে (aspartic acid) অতিরিক্ত একটি কার্বক্সিল বর্গ উপস্থিত থাকায় অ্যাসিডগুলি আম্লিকধর্মী।

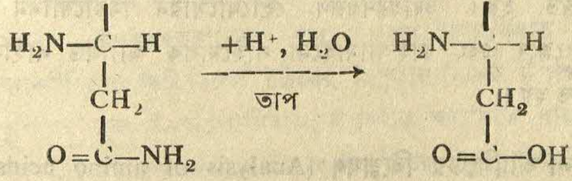
লাইসিন (lysine), হাইড্রক্সিলাইসিন (hydroxylysine), আরজিনিন (arginine) এবং হিস্টিডিন (histidine) ক্ষারীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডের উদাহরণ। অতিরিক্ত অ্যামাইনো বর্গ থাকায় ইহারা ক্ষারধর্মী।

অ্যারোম্যাটিক (aromatic) **বর্গ** : টাইরোসিন (tyrosine) এবং ফিনাইল অ্যালানিন (phenyl alanine) অ্যামাইনো অ্যাসিডে অ্যারোম্যাটিক বা বেঞ্জিন বলয় (benzene ring) উপস্থিত। প্রোটীনের অতি বেগুনি আলোকের (ultraviolet light) শোষণ (260-290nm) অধিকাংশ ক্ষেত্রে ট্রিপটোফেন সমেত উপরোক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডের ধর্মের উপর নির্ভরশীল।

ভিন্নচক্রী (heterocyclic) **বর্গ :** ট্রিপ্টোফেন (tryptophan), প্রোলিন (proline) এবং হাইড্রক্সিপ্রোলিন (hydroxyproline) ভিন্নচক্রী অ্যামাইনো অ্যাসিডের উদাহরণ। হিস্টিডিনেকে অনেকে ভিন্নচক্রী বর্গের অ্যামাইনো অ্যাসিড-রূপে গণ্য করেন।

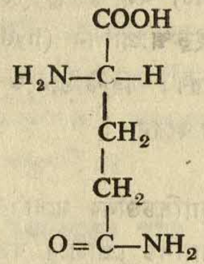
উপরোক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মধ্যে একমাত্র হাইড্রক্সিলাইসিন ব্যতীত 18টি অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রোটীনে বর্তমান। এই অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলিকে প্রোটীন অ্যামাইনো অ্যাসিড (protein amino acid) বলা হয়। প্রোটীন অ্যামাইনো অ্যাসিডের মধ্যে কতিপয় অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রোটীনে অধিক মাত্রায় পরিলক্ষিত হয়। প্রোটীনে হাইড্রক্সি-প্রোলিনের উপস্থিতি খুবই সীমিত।

অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে উদ্ভূত অ্যামাইডও (amides) প্রোটীন গঠনে ব্যবহৃত হয়। এই অ্যামাইডগুলির মধ্যে গ্লুটামিক ও অ্যাসপারটিক অ্যাসিডের অ্যামাইড বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য (অ্যামাইড সংশ্লেষের বিশদ বিবরণ অষ্টম অধ্যায়ে দ্রষ্টব্য)। অ্যাসপারটিক অ্যাসিডের অ্যামাইড, অ্যাসপারাজিন (asparagine) উদ্ভিদ কোষ গঠনে বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে। অ্যাসপারাজিনকে অ্যাসিড দ্বারা আর্দ্রবিশ্লেষণ করিলে, অ্যাসপারটিক অ্যাসিড ও অ্যামনিয়া মুক্ত হয়।



অ্যাসপারাজিন . অ্যাসপারটিক অ্যাসিড

গ্লুটামিক অ্যাসিডের অ্যামাইড গ্লুটামিনও (glutamine) উদ্ভিদ প্রোটীন গঠনে বিশেষ কার্যকারী।



গ্লুটামিন

অ্যালানিনের সমাংশক (isomer) β-অ্যালানিন প্রোটীন গঠনে ব্যবহৃত না হইলেও কোষে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় এবং কোএনজাইম-A এবং প্যাণ্টোথেনিক অ্যাসিড নামক ভিটামিনে (খাদ্য প্রাণে) β-অ্যালানিন বিশেষ কার্যকারী।

অরনিথিন (ornithine), সিট্রুলিন (citrulline), হোমোসেরিন (homoserine), হোমোসিষ্টাইন (homocysteine), ⍺-অ্যামাইনো অ্যাডিপিক অ্যাসিড (⍺-amino adipic acid) এবং ডাইঅ্যামাইনো পাইমেলিক অ্যাসিড (diamino pimelic acid) প্রোটীনসংশ্লেষে ব্যবহৃত হয় না বলিয়া ইহাদের অপ্রোটীন অ্যামাইনো অ্যাসিড (non protein amino acid) বলা হয়। অপ্রোটীন অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির কার্য সম্পূর্ণরূপে নিরুপিত না হইলেও অরনিথিন ও সিট্রুলিন ইউরিয়া (urea) সংশ্লেষে বিশেষ কার্যকর। কতিপয় অপ্রোটীন অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রোটীন অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লেষে ব্যবহৃত হয়। উদাহরণস্বরূপ হোমোসেরিন মিথায়োনিন ও থ্রিয়োনিন সংশ্লেষে এবং ডাইঅ্যামাইনো পাইমেলিক অ্যাসিড লাইসিন সংশ্লেষে ব্যবহৃত হয়।

অ্যামাইনো অ্যাসিডের বিশ্লেষণ (Analysis of amino acids)**:** প্রোটীনে অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন এবং ক্রমপর্যায় (sequence) সঠিকভাবে নির্ণয় করা প্রাণ-রসায়ন বিদ্যার একটি গুরুত্বপূর্ণ সমস্যা। প্রোটীন গঠনকারী স্বতন্ত্র অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি সনাক্তকরণ (identification) ব্যতীত অ্যামাইনো অ্যাসিডের পরিমাণ নির্ণয় করাও অ্যামাইনো অ্যাসিড বিশ্লেষণের

একটি সমস্যা। প্রোটীনে অ্যামাইনো অ্যাসিড গঠন নিরুপণ করিবার পূর্বে সর্বাগ্রে প্রোটীনকে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষণ এবং অতিরিক্ত অ্যাসিডকে অপসারণ করা বিশেষ প্রয়োজন। অতঃপর বিভিন্ন উপায়ে সেই মিশ্রণের অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি নির্ণীত করা হয়।

পুরাতন প্রযুক্তি (technique) অনুযায়ী অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গটি মিথাইল বা ইথানল দ্বারা এস্টারীভূত করিয়া সেই এস্টারগুলিকে ভগ্নাঙ্কবটিত পাতন (fractional distillation) দ্বারা নির্ণয় করা হইয়া থাকে। বিশেষ কতকগুলি অ্যামাইনো অ্যাসিড সিলভার (রৌপ্য) আয়ণ, হাইড্রক্লোরিক অ্যাসিড, পিকরিক অ্যাসিড প্রভৃতি যৌগের মিশ্রণে অদ্রবণীয় লবণ প্রস্তুত করে। গ্লুটামিক অ্যাসিড অ্যাসিডের হাইড্রোক্লোরাইড-রূপে অধঃক্ষিপ্ত (precipitated) হয়। অতঃপর প্রোটীন হাইড্রোলাইসেটে (hydrolysate) তাহার পরিমাণ নির্ণয় করা হইয়া থাকে।

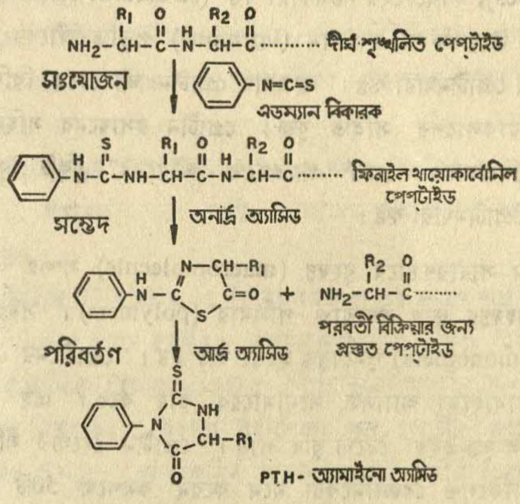
কতিপয় প্রাকৃতিক অ্যামাইনো অ্যাসিড নির্দিষ্ট রাসায়নিক বিক্রিয়ায় প্রতিক্রিয়াশীল এবং সেই সমস্ত ক্ষেত্রে অ্যামাইনো অ্যাসিডের আর্দ্র বিশ্লেষিত মিশ্রণকে বিশ্লেষিত (analysis) করা হয়। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে, আরজিনিন ∝-ন্যাফ্‌থল নামক যৌগের মিশ্রণে লাল বর্ণ ধারণ করে [স্যাকাগুচি (Sakaguchi) বিক্রিয়া]। টাইরোসিন নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত মারকিউরিক লবণের সহিত মিশ্রণে লাল যৌগের সৃষ্টি হয় [মিলন বিক্রিয়া (Millon reactions)]।

অ্যামাইনো অ্যাসিড মিশ্রণে নির্দিষ্ট অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি ব্যাক্টিরিয়ার (যাহার বৃদ্ধির জন্য এই বিশেষ অ্যাসিড প্রয়োজন) দ্বারাও নিরূপণ করা সম্ভব। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে, ল্যাক্টোব্যাসিলাস (*Lactobacillus*) ব্যাক্টিরিয়ার একটি বিশেষ স্ট্রেনের L-অ্যালানিনের উপস্থিতিতে তাহাদের বৃদ্ধি হয় এবং L-অ্যালানিনকে ল্যাকটিক অ্যাসিডে পরিণত করে। এই ব্যাক্টিরিয়ার বৃদ্ধি L-অ্যালানিনের উপস্থিতির উপর নির্ভরশীল। মিডিয়ামে (medium) অ্যামাইনো অ্যাসিডের সরবরাহের উপর ব্যাক্টিরিয়ার বৃদ্ধি (বা ল্যাক্টিক অ্যাসিডের উৎপাদনের পরিমাণ) নির্ভরশীল। সুতরাং উপরোক্ত পদ্ধতিতে অ্যামাইনো অ্যাসিড মিশ্রণে L-অ্যালানিনের পরিমাণ নির্ণয় সম্ভব।

বর্তমান প্রোটীন রসায়নে দুইটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ পদ্ধতি হইল—(i) আয়ণ বিনিময় রেজিনের (ion exchange resins) সাহায্যে বিশেষ পৃথকীকরণ (elution) পদ্ধতি দ্বারা অ্যামাইনো অ্যাসিডের মিশ্রণ হইতে অ্যামাইনো অ্যাসিডকে নিরূপিত করা হয়। স্টেইন (Stein) এবং মূর (Moore) 1958 খৃষ্টাব্দে স্বয়ংক্রিয় অ্যামাইনো অ্যাসিড বিশ্লেষকে (analyzers) আয়ণ বিনিময় রেজিন দ্বারা প্রোটীন হাইড্রোলাইসেট হইতে বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিড নিরূপণ করেন। (ii) বর্ণীয় লিখন পত্রের (chromatographic paper) দ্বারা অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মাত্রিক (quantitative) পরিমাণ অতি সহজেই নির্ণয় করা হয়। প্রোটীন হাইড্রেলাইসেটে আম্লিক, ক্ষারীয় ও প্রশমিত অ্যামাইনো অ্যাসিডের উদ্বায়ী ও স্থায়ী যৌগ উপস্থিত থাকিলে বর্তমানে গ্যাস-তরল বর্ণীয় লিখন (gas-liquid chromatography) দ্বারা নির্ণয় করা হয়।

অ্যামাইনো অ্যাসিডের ক্রমপর্যায় নিরূপণঃ নির্দিষ্ট প্রোটিনে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলিকে নিরূপণ করিবার পর তাহাদের ক্রমপর্যায় (sequence) নির্ণয় পদ্ধতি৷ অতি আধুনিক। নির্দিষ্ট প্রোটীনে অ্যামাইনো অ্যাসিডের ক্রমপর্যায় নির্ণয় করিতে সর্বপ্রথম প্রতি পেপটাইডে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলিকে নিরূপণ করিতে হয়। পরবর্তী পর্যায়ে N- এবং C-এর প্রান্তীয় অবশেষ (terminal residue) নির্ণয় করিতে হয়। ট্রাইপেপটাইডের ক্ষেত্রে প্রান্তীয় অবশেষের গঠন হইতে অ্যামাইনো অ্যাসিডের ক্রমপর্যায় নির্ণয় করা সম্ভব। দীর্ঘাকৃতি পেপটাইডের ক্ষেত্রে অ্যামাইনো অ্যাসিডের ক্রমপর্যায় এডম্যান বিক্রিয়ায় (Edman reaction) দ্বারা নিরূপণ করা হইয়া থাকে। এডম্যান বিক্রিয়ায় N-প্রান্তীয় অবশেষটি ফিনাইল-আইসোথায়ো-সায়ানেট (phenylisothiocyanate) প্রয়োগ করিয়া নির্ণয় করা হয়। উপরোক্ত যৌগকে এডম্যান বিকারক (Edman reagent) বলা হয় (চিত্র-6)। উক্ত বিকারক লঘু ক্ষারীয় দ্রবণে পেপটাইড শৃঙ্খলের মুক্ত α-অ্যামাইনো বর্গের সহিত বিক্রিয়া ঘটাইয়া ফিনাইলথায়োকার্বামিল পেপটাইড গঠন করে। উক্ত যৌগটির সহিত অ্যাসিড মিশ্রিত করিলে N-প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডের ফিনাইলথায়োহাইড্যাণ্টোইন (phenyl-

thiohydantoin বা PTH) এবং নূতন N-প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রস্তুত হয়।



চিত্র-6 : এডম্যা'ন বিক্রিয়ার বিভিন্ন পর্যায়

উপরোক্ত বিক্রিয়ার দ্বারা 1960 খৃষ্টাব্দে হ্যারিস (Harris) এবং ইনগ্রাম (Ingram) ইনসুলিন (insulin) নামক পলিপেপটাইড উদ্বোধকের এবং 1963 খৃষ্টাব্দে স্মিথ (Smyth), স্টেইন (Stein) এবং মুর (Moore) রাইবো-নিউক্লিয়েজ (ribonuclease) নামক উৎসেচকের অ্যামাইনো অ্যাসিডের ক্রমপর্যায় নির্ণয় করেন। ইনসুলিন 51টি এবং রাইবোনিউক্লিয়েজ 124টি অ্যামাইনো অ্যাসিড সহযোগে প্রস্তুত হয়।

অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লেষ (Synthesis of amino acids) : অষ্টম অধ্যায়ে দ্রষ্টব্য।

খ. **প্রোটীন (Proteins) :** প্রাথমিক জীব হইতে সর্বাপেক্ষা জটিল জীবের প্রয়োজনীয় গঠনকারী পদার্থ প্রোটীন (proteins)। একদিকে উপযুক্ত পরিবেশে জনন ব্যতীত 'জীবনের' বৈশিষ্ট্যকারী অন্য কোন লক্ষণ সরল ভাইরাসে পরিলক্ষিত না হইলেও তাহারা প্রোটীন ও নিউক্লিক অ্যাসিড দ্বারা গঠিত। ভাইরাস প্রোটীন নিউক্লিয়াসকে পরিবেষ্টিত করিয়া রাখে।

অপরপক্ষে সর্বাপেক্ষা জটিল জীবের বিভিন্ন গঠনে প্রোটীন ব্যবহৃত হয়। অনুঘটক বৈশিষ্ট্যপূর্ণ উৎসেচক (enzymes), আত্মরক্ষণকারী প্রতিবস্তু (antibodies), জীবদেহের গঠনকারী বস্তু (structural elements), বিপাক নিয়ন্ত্রণকারী উদ্বোধক বা হরমোন (hormone) প্রভৃতি জীবের প্রয়োজনীয় সমস্ত পদার্থ প্রোটীনদ্বারা সৃষ্ট। সুতরাং প্রোটীন জীবদেহে বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াকলাপের সহিত যুক্ত। প্রোটীন রসায়নের সহিত জীবনের রসায়ন আঙ্গিকভাবে জড়িত। প্রকৃতপক্ষে "জীবনের" একটি বৈশিষ্ট্য হইল যে উহারা প্রোটীনদ্বারা সৃষ্ট।

প্রোটীন সাধারণভাবে বৃহদণু (macromolecule) সম্পন্ন এবং সমস্ত জৈবিক বৃহদণুর ন্যায় ইহারাও পলিমার (polymers)। সমস্ত পলিমার মনোমার (monomers) পুনরাবৃত্ত হইয়া সৃষ্টি হয়। প্রোটীনের ক্ষেত্রে 20টি বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিড মনোমারের কার্য করে। এই অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি যুক্ত হইয়া দৈর্ঘ্যে বৃদ্ধি পায়। প্রোটীন দৈর্ঘ্যের সঠিক হিসাব জানা না থাকিলেও বৈজ্ঞানিকেরা মনে করেন কমপক্ষে 50টি অ্যামাইনো অ্যাসিড সংযুক্ত হইয়া 5000 আণবিক গুরুত্ব সম্পন্ন প্রোটীন প্রস্তুত হয়। জটিল প্রোটীন অবশ্য কয়েক হাজার অ্যামাইনো অ্যাসিড যুক্ত হইয়া প্রস্তুত হয় এবং সেক্ষেত্রে ইহাদের আণবিক গুরুত্ব প্রায় দশ লক্ষাধিক।

প্রোটীনের শ্রেণীবিন্যাস (Classification of proteins): বৈজ্ঞানিকদের কাছে প্রোটীনের কোন আধুনিক শ্রেণীবিন্যাস জানা না থাকায় 1907 খৃষ্টাব্দের প্রস্তাবিত প্রাচীন শ্রেণীবিন্যাসই ব্যবহৃত হইয়া থাকে। এই প্রচলিত শ্রেণীবিন্যাসে প্রোটীনকে দুইটি বিভাগে বিভক্ত করা হইয়া থাকে।

(ক) **সরল প্রোটীন** (Simple proteins): প্রোটীন সম্পূর্ণভাবে আর্দ্র বিশ্লেষিত হইলে যখন শুধুমাত্র α-অ্যামাইনো অ্যাসিড পাওয়া যায় তখন তাহাকে সরল প্রোটীন বলে।

(খ) **সংযুক্ত (যুগ্ম) প্রোটীন** (Conjugated proteins): প্রোটীন অণু অন্য কোন জৈব বা অপ্রোটীন প্রোসথেটিক (prosthetic) বর্গের সহিত যুক্ত থাকিলে তাহাকে সংযুক্ত বা যুগ্ম প্রোটীন বলা হয়।

সরল প্রোটীন নিম্নলিখিত কয়েকটি ভাগে বিভক্ত।

(i) **অ্যালবিউমিন** (Albumins): ইহারা জলে এবং লঘু লবণ দ্রবণে দ্রবণীয়। জীবদেহে ইহারা বেশীমাত্রায় উপস্থিত। ইহাদের আণবিক গুরুত্ব 45,000-65,000।

(ii) **গ্লোবিউলিন** (Globulins): অ্যালবিউমিনের ন্যায় ইহারা লঘু দ্রবণে দ্রবণীয় হইলেও জলে অদ্রবণীয়। ইহাদের আণবিক গুরুত্ব প্রায় 35,000।

(iii) **প্রোলামিন** (Prolamins): যে সমস্ত প্রোটীন জলে অদ্রবণীয় কিন্তু 50-90% ইথানল দ্রবণে দ্রবণীয় তাহাদের প্রোলামিন বলে। ইহা উদ্ভিদে উপস্থিত।

(iv) **গ্লুটেলিন** (Glutelins): ইহারা সমস্ত প্রকার দ্রবণে অদ্রবণীয়; কিন্তু লঘু অ্যাসিড বা ক্ষার দ্রবণে দ্রবণীয়। ইহারাও শুধুমাত্র উদ্ভিদে উপস্থিত।

(v) **প্রোটামিন** (Protamines): অ্যামাইনো অ্যাসিডের পরিমাণ ও আকৃতির উপর নির্ভরশীল। ইহারা সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্র প্রোটীন এবং ইহাদের আণবিক গুরুত্ব 5000। আরজিনিন নামক ক্ষারীয় অ্যামাইনো অ্যাসিড এই প্রোটীনের উল্লেখযোগ্য অংশ। প্রোটামিনের গন্ধক (সালফার) বর্গ অনুপস্থিত। পরিণত শুক্রাণুতে অধিকমাত্রায় প্রোটামিন পরিলক্ষিত হয়।

(vi) **হিস্টোন** (Histones): একাধিক ক্ষারীয় অ্যামাইনো অ্যাসিড সমন্বিত প্রোটীনকে হিস্টোন বলা হয়। নিউক্লিয়াসের নিউক্লিক অ্যাসিডের সহিত হিস্টোন পরিলক্ষিত হয়। "জিন" (gene) বৈশিষ্ট্য প্রকাশে হিস্টোনের বিশেষ ভূমিকা বর্তমান।

(vii) **স্ক্লেরোপ্রোটীন** (Scleroproteins): সমস্ত প্রকার সাধারণ দ্রবণে অদ্রবণীয় প্রোটীনকে স্ক্লেরোপ্রোটিন বলা হয়। গঠনকারী প্রোটীনরূপে ইহারা বিশেষ উল্লেখযোগ্য। সংযোজক কলা, হাড়, চুল, ত্বক, রেশম প্রভৃতি প্রস্তুতিতে স্ক্লেরোপ্রোটীন বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে।

কোলাজেন (collagens) এবং কেরাটিন (keratins) বিশেষ ধরনের স্ক্লেরোপ্রোটীন। গ্লাইসিন, প্রোলিন, হাইড্রক্সিপ্রোলিন প্রভৃতি গন্ধক (সালফার) বিহীন অ্যামাইনো অ্যাসিড যুক্ত হইয়া কোলাজেন প্রস্তুত হয়। কোলাজেনকে উত্তপ্ত জলে ফুটাইলে জেলাটীন (gelatins) নামক দ্রবণীয় প্রোটীন প্রস্তুত হয়। ক্ষারীয় ও গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড সহযোগে

কেরাটিন প্রস্তুত হয়। স্ক্লেরোপ্রোটীনের (কোলাজেন) আণবিক গুরুত্ব 34,5000।

প্রোসথেটিক বর্গের প্রকৃতির উপর ভিত্তি করিয়া সংযুক্ত প্রোটীনকে নিম্নলিখিত বিভাগে বিভক্ত করা হইয়া থাকে।

(i) **নিউক্লিও প্রোটীন** (Nucleoproteins): নিউক্লিও প্রোটীনের প্রোসথেটিক বর্গটি নিউক্লিক অ্যাসিড। প্রোটীনের এই আম্লিক অংশটি প্রোটামিন ও হিস্টোন প্রভৃতি ক্ষারীয় প্রোটীনের সহিত লবণ জাতীয় বন্ধনী (salt linkage) সৃষ্টি করে।

(ii) **লিপোপ্রোটীন** (Lipoproteins): স্নেহপদার্থ সমন্বিত প্রোটীনকে লিপোপ্রোটীন বলা হয়। স্নেহপদার্থ ও প্রোটীনের সংযুক্তি অত্যন্ত জটিল। জীবকোষের পর্দা লিপোপ্রোটীন সমন্বিত (বিশদ্ আলোচনার জন্য দ্বিতীয় অধ্যায়ে "স্নেহজাতীয় পদার্থ" অংশ দ্রষ্টব্য)। সেরাম (serum) লিপো-প্রোটীন গ্লিসারাইড, ফস্‌ফেটাইড এবং কোলেস্টেরল যুক্ত হইয়া জটিল যৌগের সৃষ্টি করে।

(iii) **মিউকোপ্রোটীন** (mucoproteins): মিউকোপ্রোটীনের প্রোস-থেটিক বর্গটি একটি কার্বোহাইড্রেট। মিউকোপ্রোটীনের প্রধান গঠনকারী বস্তু হেক্সোজ অ্যামাইন (hexose amine) হইলেও কার্বোহাইড্রেটের বৈচিত্র্য পরিলক্ষিত হয়। কার্বোহাইড্রেট-প্রোটীন সংযুক্তি কোভ্যালেন্ট (covalent) বা লবণ বন্ধনীর দ্বারা সংঘটিত হয়।

(iv) **ক্রোমোপ্রোটীন** (Chromoproteins): রঞ্জক পদার্থযুক্ত প্রোটীনকে ক্রোমোপ্রোটীন বলা হয়। ফাইকোবিলিনস (phycobilins), ফাইটোক্রোম (phytochrome) রঞ্জক পদার্থ ক্রোমোপ্রোটীনের উদাহরণ।

প্রোটীনের গঠন (Structures of Proteins): নোবেল পুরস্কারপ্রাপ্ত পলিং (Pauling) সর্বপ্রথম X-রশ্মি পরীক্ষা দ্বারা প্রোটিনের সূক্ষ্ম গঠন নির্ণয় করেন। প্রোটীনের এই গঠনকে 1951 খৃষ্টাব্দে পলিং (Pauling) এবং কোরি (Corey) α-কুণ্ডলী (α-helix) গঠন রূপে আখ্যা দেন। প্রোটিনের আণবিক গঠন অনুধাবণের ক্ষেত্রে X-রশ্মির বিচ্ছুরণের (X-ray diffraction) উপযোগিতার কথা 1965 খৃষ্টাব্দে কেণ্ড্রু (Kendrew) এবং পেরুটজ্ (Perutz) বিশেষভাবে উল্লেখ করেন।

প্রোটীনের গঠনে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি পরিলক্ষিত হয়।

(ক) **প্রাথমিক গঠন** (Primary structure) : পেপটাইড বন্ধনীদ্বারা অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি যখন নির্দিষ্ট ক্রমানুযায়ী যুক্ত থাকে তখন তাহাকে প্রোটীনের প্রাথমিক গঠন বলে। এক্ষেত্রে অন্য কোন শক্তি বা বন্ধনীর প্রয়োজন হয় না।

(খ) **দ্বিতীয় পর্যায়ক্রমিক গঠন** (Secondary structure) : পেপটাইড বন্ধনীর কার্বক্সিল বর্গের অক্সিজেনের সহিত অ্যামাইনো বর্গের হাইড্রোজেন-বন্ধনী (H-bonds) দ্বারা যুক্ত থাকিয়া শৃঙ্খল গঠন করিলে তাহাকে দ্বিতীয় পর্যায়ক্রমিক গঠন বলা হয়।

(গ) **তৃতীয় পর্যায়ক্রমিক গঠন** (Tertiary structure) : দীর্ঘ শৃঙ্খলিত পেপটাইড বন্ধনী অতিশয় কুণ্ডলিত হইয়া একটি জটিল এবং দৃঢ় "গোলাকার" (globular) প্রোটীনে পরিণত হয়, ইহাকে প্রোটীনের তৃতীয় পর্যায়ক্রমিক গঠন বলা হয়।

লাইসিন এবং আরজিনিন নামক ক্ষারীয় অ্যামাইনো অ্যাসিড এবং গ্লুটামিক ও অ্যাসপারটিক নামক দুইটি কার্বক্সিলযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি লবণ বন্ধনী (salt linkage) দ্বারা যুক্ত হয়। সিষ্টাইন নামক সালফাহাইড্রিল বর্গযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড ডাইসালফাইড বন্ধনীদ্বারা যুক্ত হয়। সদৃশ্যযুক্ত অ্যারোমেটিক বা অ্যালিফ্যাটিক বর্গগুলি হাইড্রোফোবিক বন্ধনী (hydrophobic bonds) দ্বারা যুক্ত হয়। প্রোটীনের তৃতীয় পর্যায়ক্রমিক গঠনটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ এবং প্রোটীনের অনুঘটক ধর্মের জন্য প্রয়োজনীয়।

(ঘ) **চতুর্থ পর্যায়ক্রমিক গঠন** (Quaternary structure) : নিয়ন্ত্রণকারী উৎসেচকগুলির গঠন প্রোটীনের চতুর্থ পর্যায়ক্রমিক গঠন। উদাহরণস্বরূপ ফস্‌ফোরাইলেজ উৎসেচকটি চারিটি উপএকক (sub-unit) দ্বারা গঠিত। এককভাবে অনুঘটকরূপে ইহারা নিষ্ক্রিয় হইলেও যুগ্ম অবস্থায় টেট্রামার (tetramer) গঠন করিবার পর সক্রিয় উৎসেচকরূপে পরিগণিত হয়। উপরোক্ত গঠনকে **সমপ্রকৃতির চতুর্থ পর্যায়ক্রমিক গঠন** (homogeneous quaternary structure) বলা হয়। টোব্যাকো মোসেক ভাইরাসে (TMV)

রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড ও প্রোটীন একক—এই দুইটি বিভিন্ন একক যুক্ত হইয়া সক্রিয় ভাইরাস গঠন করে বলিয়া ইহাদের **অসমপ্রকৃতির চতুর্থ পর্যায়ক্রমিক গঠন** (heterogeneous quaternary structure) বলা হয়।

হিমোগ্লোবিন (hemoglobin) এই জাতীয় প্রোটীনের একটি বিশেষ উদাহরণ। হিমোগ্লোবিন চারিটি স্বাধীন পলিপেপটাইড শৃঙ্খলদ্বারা গঠিত। প্রতিটি শৃঙ্খলে পৃথক দ্বিতীয় বা তৃতীয় পর্যায়ক্রমিক গঠন বর্তমান। এই জড়িত পলিপেপটাইডগুলির মিথষ্ক্রিয়তার (interaction) ফলেই সম্পূর্ণ হিমোগ্লোবিন অণুটি প্রস্তুত। হিমোগ্লোবিন ব্যতীত বহু উৎসেচক (যেমন, ল্যাকটিক ডিহাইড্রোজিনেজ, ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ, ফস্‌ফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড ডিহাইড্রোজিনেজ প্রভৃতি) একাধিক প্রোটীন উপএকক দ্বারা গঠিত।

আইসোজাইম (isozymes)* জাতীয় উৎসেচকেরাও প্রোটীনের চতুর্থ পর্যায়ক্রমিক গঠনের অপর একটি উদাহরণ।

বহু-উৎসেচক যৌগের (multi-enzyme complex) প্রস্তুতিও প্রোটীনের চতুর্থ পর্যায়ক্রমিক গঠনের ফল। পাইরুভিক ডিহাইড্রোজিনেজ নামক বহু-উৎসেচক যৌগটি তিনটি উৎসেচক দ্বারা গঠিত। ইহাদের মধ্যে অন্ততঃ একটি প্রোটীন উপএকক এবং ৪৪টি বিভিন্ন পলিপেপটাইড দ্বারা গঠিত। এই উৎসেচকটির গঠনকারী পদার্থগুলি একত্রিত হইয়া স্বতঃস্ফূর্তভাবে প্রস্তুত হয়।

প্রোটীনের বিকলন (Protein denaturation) : প্রোটীনের স্তরীভূত গঠন (folded conformations) খুবই ভঙ্গুর। বিভিন্ন ঘনত্বের অ্যাসিড বা ক্ষার, গাঢ় ঘনত্বের লবণ বা জৈব দ্রবণ, তাপ, বিকিরণ প্রভৃতির প্রভাবে প্রোটীনের হাইড্রোজেন-বন্ধনী নষ্ট হওয়ায় প্রোটীনের স্বাভাবিক গঠন নষ্ট হয়। অ্যামাইনো অ্যাসিডের ক্রমপর্যায় নষ্ট না করিয়া প্রোটীনের এই গুরুত্বপূর্ণ পরিবর্তনকেই ট্যানফোর্ড (Tanford) **প্রোটীনের বিকলন** (protein denaturation) রূপে আখ্যা দেন। একাধিক পদ্ধতিতে প্রোটীনের বিকলন করা সম্ভব। প্রোটীনের গঠনের পরিবর্তনের উপর তাহাদের কার্যকারিতা নির্ভরশীল।

* ভিন্ন গঠনের সমধর্মী উৎসেচক।

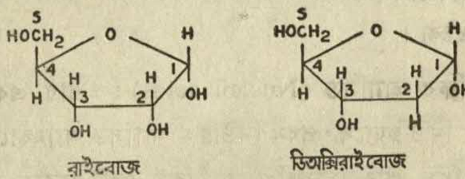
প্রোটীনের বিকলন পদ্ধতিটি উভমুখী (reversible) বা একমুখী (irreversible) প্রক্রিয়া। প্রোটীন বিকলনে প্রোটীন শৃঙ্খলটি ধীরে ধীরে খুলিয়া গেলে (unfolded) পদ্ধতিটি উভমুখী হয়। কিন্তু প্রোটীনের ডাইসালফাইড বন্ধনীতে পরিবর্তন ঘটিলে পদ্ধতিটি সাধারণতঃ একমুখী হয়।

প্রোটীন সংশ্লেষ (Synthesis of proteins): বিশদ আলোচনার জন্য অষ্টম অধ্যায় দ্রষ্টব্য।

গ. **নিউক্লিক অ্যাসিড** (Nucleic acids): প্রায় এক শতাব্দী পূর্বে জীব কোষের নিউক্লিয়াসে প্রথম নিউক্লিক অ্যাসিড আবিষ্কারের পর হইতেই নিউক্লিক অ্যাসিড প্রাণ-রসায়ণবিদের নিকট একটি গবেষণার বিষয়। প্রায় 100 বৎসর পূর্বে মিসার (Miescher) সর্বপ্রথম কোষে নিউক্লিক অ্যাসিড আবিষ্কার করেন। প্রতিটি জীবকোষে নিউক্লিক অ্যাসিড বর্তমান এবং ইহারা কোষে প্রোটীন সংশ্লেষ নির্দেশ করে। ইহারা জেনেটিক তথ্য স্থানান্তরণে দায়ী। প্রোটীনের ন্যায় ইহারাও উচ্চ আণবিক গুরুত্ব সম্পন্ন পলিমার (polymers) যদিও এক্ষেত্রে অ্যামাইনো অ্যাসিডের পরিবর্তে পুণরাবৃত্ত (repeating) এককটি হইল মনোনিউক্লিওটাইড (mono-nucleotide)। নিউক্লিওটাইড একাধিক সাধারণ সহউৎসেচকেরও প্রয়োজনীয় অংশ। কোষে নিউক্লিক অ্যাসিড প্রোটীনের সহিত সংযুক্ত হইয়া নিউক্লিওপ্রোটীন (nucleoprotein) প্রস্তুত করে।

সমস্ত কোষীয় জীবে **রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড** (ribonucleic acid বা RNA) এবং **ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড** (deoxyribonucleic acid বা DNA) নামক দুইট নিউক্লিক অ্যাসিড বিদ্যমান। ভাইরাস নামক জীবে দুইটি নিউক্লিক অ্যাসিড একই সঙ্গে উপস্থিত থাকে না, শুধুমাত্র RNA অথবা DNA বিদ্যমান। ইউক্যারিওটিক ও প্রোক্যারিওটিক জীবের ক্রোমোসোমের একটি বিশেষ উপাদান DNA এবং কোষের ক্লোরোপ্লাস্ট, মাইটোকণ্ড্রিয়া এবং সেন্টিওল্স প্রভৃতি কোষস্থ অঙ্গে বিদ্যমান। RNA প্রধানতঃ সাইটোপ্লাস্মে উপস্থিত, নিউক্লিয়াসের নিউক্লিওলাস অংশেও ইহাদের উপস্থিতি প্রমাণিত হইয়াছে। DNA-কে কোষীয় জীবের জেনেটিক পদার্থ রূপে গণ্য করা হইয়া থাকে। RNA সমন্বিত ভাইরাসে এই ভূমিকা RNA গ্রহণ করিয়া থাকে। প্রতি নিউক্লিওটাইডে পিউরিন (purine) এবং

পিরিমিডিন (pyrimidine) নামক চক্রাকার নাইট্রোজেন বেস (base), একটি রাইবোজ (ribose) বা ডিঅক্সিরাইবোজ (deoxyribose) নামক পেন্টোজ শর্করা এবং ফস্‌ফেট বর্গ বিদ্যমান। DNA-তে ডিঅক্সিরাইবোজ এবং RNA-তে রাইবোজ শর্করা উপস্থিত (চিত্র-7)।



চিত্র 7 : রাইবোজ ও ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করার গঠন

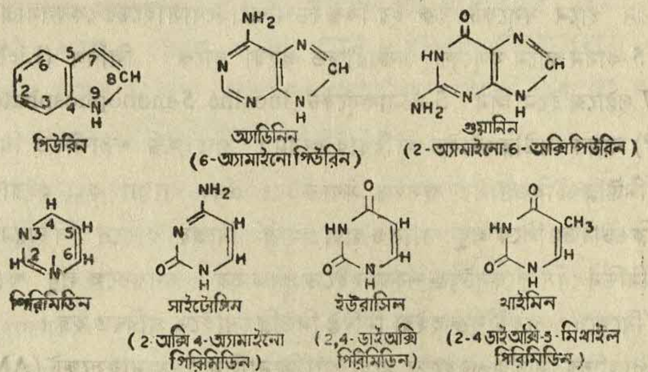
পিউরিন ও পিরিমিডিন (Purines and Pyrimidines) : RNA এবং DNA উভয় নিউক্লিক অ্যাসিডে অ্যাডিনিন (adenine) এবং গুয়ানিন (guanine) নামক দুইটি পিউরিন উপস্থিত। অনেক ক্ষেত্রে দ্রবনীয় RNA-তে (sRNA) হাইপোজ্যান্থিন (hypoxanthin), মিথাইল গুয়ানিন (methyl guanine) এবং ডাইমিথাইল গুয়ানিন (dimethyl guanine) নামক পিউরিন উপস্থিত থাকে। পিরিমিডিনের মধ্যে সাইটোসিন (cytosine) RNA এবং DNA-তে উপস্থিত থাকে। চতুর্থ নাইট্রোজেন বেসটি দুইটি নিউক্লিক অ্যাসিডে বিভিন্ন ; DNA-তে এই বেসটি থাইমিন (thymine) এবং RNA-তে ইউরাসিল (uracil)।

পিউরিন ও পিরিমিডিন নাইট্রোজেন বেসগুলির রাসায়নিক গঠন নিম্নে দেওয়া হইল (চিত্র-8)।

DNA অণুতে সাইটোসিনের পরিবর্তে কোন কোন ক্ষেত্রে 5-মিথাইল সাইটোসিন এবং 5-হাইড্রক্সিমিথাইল সাইটোসিনও বর্তমান। PBS-1 নামক একটি DNA ভাইরাসে (ইহারা *Bacillus subtilis* নামক ব্যাক্‌টিরিয়াকে আক্রমণ করে) থাইমিনের পরিবর্তে ইউরাসিল যুক্ত থাকে।

নিউক্লিওসাইড (Nucleosides) : নিউক্লিক অ্যাসিডের পিউরিন ও পিরিমিডিন পেন্টোজ শর্করার সহিত যুক্ত থাকিলে তাহাদের নিউক্লিওসাইড (nucleoside) বলা হয়। পেন্টোজ শর্করার C-1 স্থানের সহিত পিউরিনের

N-9 এবং পিরিমিডিনের N-1 স্থানের সংযুক্তি হয়। রাইবোজ ও ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করার সহিত নাইট্রোজেন বেস-এর সংযুক্তির ফলে



চিত্র 8 : বিভিন্ন প্রকার পিউরিন ও পিরিমিডিনের রাসায়নিক গঠন

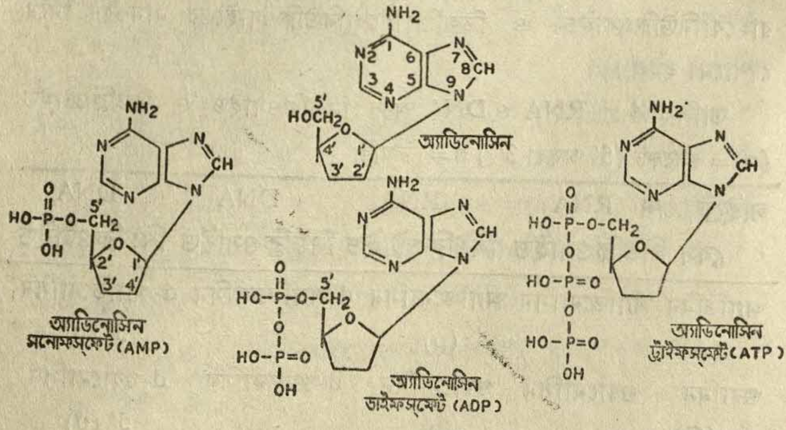
রাইবোনিউক্লিওসাইড ও ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওসাইডের নামকরণ নিম্নে দেখানো হইল।

তালিকা 4 : RNA ও DNA অণুর নিউক্লিওসাইড ও নিউক্লিওটাইড (p) = ফসফেট (5′ অথবা 3′) d = ডিঅক্সি

নাইট্রোজেন বেস	RNA নিউক্লিওসাইড	RNA নিউক্লিওটাইড	DNA নিউক্লিওসাইড	DNA নিউক্লিওটাইড
অ্যাডিনিন (A)	অ্যাডিনোসিন	অ্যাডিনোসিন (p)	d-অ্যাডিনোসিন	d-অ্যাডিনোসিন 5′ (p)
গুয়ানিন (G)	গুয়ানোসিন	গুয়ানোসিন (p)	d-গুয়ানোসিন	d-গুয়ানোসিন 5′ (p)
ইউরাসিল (U)	ইউরিডাইন	ইউরিডাইন (p)	—	—
সাইটোসিন (C)	সাইটিডিন	সাইটিডিন (p)	d-সাইটিডিন	d-সাইটিডিন 5′ (p)
থাইমিন (T)	—	—	d-থাইমিডিন	d-থাইমিডিন 5′ (p)

নিউক্লিওটাইড (Nucleotides) : নিউক্লিওসাইডের ফস্‌ফেট এস্টারকে **নিউক্লিওসাইড** বলা হয়। রাইবোসাইডের রাইবোজ শর্করার 2-, 3-এবং 5-কার্বন স্থানে ফস্‌ফেট যুক্ত হয় কিন্তু ডিঅক্সিরাইবোসাইডের কেবলমাত্র 3- এবং 5-কার্বন স্থানে ফস্‌ফেট এস্টারীভূত হইয়া থাকে। লিবিগ (Liebig) 1847 খৃষ্টাব্দে ইনোসিন 5-মনোফস্‌ফেট (inosine 5-monophosphate বা IMP) নামক নিউক্লিওটাইড আবিষ্কার করেন। গত অর্দ্ধ শতাব্দীতে বিভিন্ন মনোনিউক্লিওটাইডগুলির সুসম্বদ্ধ সণাক্তকরণ এবং ব্যাখ্যা করা হইয়াছে। নিউক্লিওটাইডগুলিকে লঘু অ্যাসিড দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষ করিলে পিউরিন বা পিরিমিডিন বেস ফস্‌ফেটযুক্ত শর্করা হইতে পৃথক হয় ; অপরপক্ষে লঘু ক্ষারীয় আর্দ্রবিশ্লেষে ফস্‌ফেট মুক্ত হইয়া নির্দিষ্ট নিউক্লিওসাইডে পরিণত হয়।

প্রাকৃতিক নিউক্লিওটাইডের মধ্যে অ্যাডিনোসিন 5′-মনোফস্‌ফেট (AMP) বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

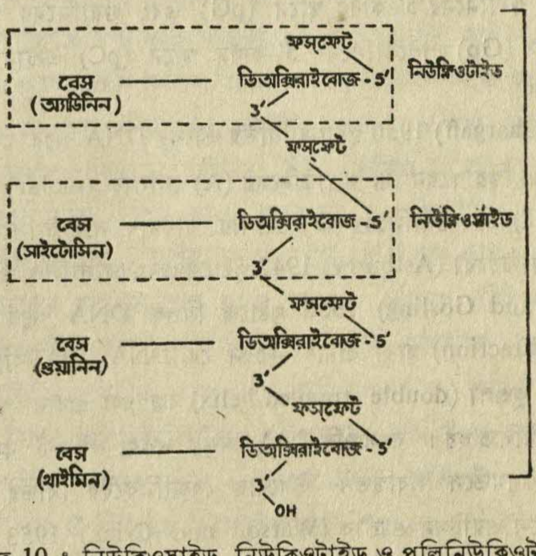


চিত্র-9 : বিভিন্ন প্রকার প্রাকৃতিক নিউক্লিওটাইডের গঠন। অ্যাডিনোসিন মনো-, ডাই- ও ট্রাইফস্‌ফেটের গঠন

অ্যাডিনোসিন মনোফস্‌ফেট (AMP), গুয়ানোসিন মনোফস্‌ফেট (GMP), সাইটিডিন মনোফস্‌ফেট (CMP) এবং ইউরাডিন মনোফস্‌ফেট (UMP) যথাক্রমে অ্যাডিনাইলিক অ্যাসিড, গুয়ানাইলিক অ্যাসিড, সিটিডাইলিক অ্যাসিড এবং ইউরাডিলিক অ্যাসিড নামে পরিচিত। রাইবোনিউক্লিওসাইড

ও ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওসাইডগুলির মনোফস্‌ফেট জৈবিক বিপাকে বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। মনোফস্‌ফেটগুলি ATP এবং নির্দিষ্ট কাইনেজ উৎসেচকের সহযোগিতায় স্ব স্ব ট্রাইফস্‌ফেটে পরিণত হয় ; যেমন AMP, ADP, ATP ; CMP, CDP, CTP ; GMP, GDP, GTP ; এবং UMP, UDP, UTP। উপরোক্ত রাসায়নিক সংকেতের পূর্বে "d" বসাইয়া ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওটাইড সূচিত করা হয়।

নিউক্লিওসাইড শর্করার কার্বন-2′ এবং -3′ অথবা কার্বন-3′ এবং -5′ স্থানে চক্রাকৃত হইয়া চক্রাকার মনোফসফেট (cyclic monophosphate) প্রস্তুত হয়। বিভিন্ন চক্রাকার মনোফস্‌ফেটের মধ্যে অ্যাডিনোসিন 3′-5′ চক্রাকার মনোফস্‌ফেট (ইহাকে চক্রাকার AMP বা cAMP ও বলে) বিশেষ উল্লেখযোগ্য। ইহারা কোষে উদ্বোধক (বা হরমোন) নিয়ন্ত্রিত বিক্রিয়ায় বিশেষ কার্যকারী। RNA-পলিমারেজ এবং DNA-পলিমারেজ নামক নিউক্লিক অ্যাসিড পলিমার সৃষ্টিকারী উৎসেচকগুলির প্রধান উপাদান হইল নিউক্লিওসাইড ট্রাইফস্‌ফেট।



চিত্র-10 : নিউক্লিওসাইড, নিউক্লিওটাইড ও পলিনিউক্লিওটাইডের বিভিন্ন অংশের সমাবেশ

RNA এবং DNA-র প্রস্তুতির সাবস্ট্রেট ব্যতীত নিউক্লিওটাইড মধ্যবর্তী বিপাকে (যেমন NAD^+ এবং $NADP^+$), প্রোটীন সংশ্লেষে (যেমন GTP), শ্বসনে (যেমন ATP), এবং ফসফোলিপিড সংশ্লেষে (যেমন CTP) অপরিহার্য ভূমিকা গ্রহণ করে।

ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড (Deoxyribonucleic acid বা DNA) ঃ ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড (DNA) একটি দীর্ঘ পলি-নিউক্লিওটাইডের রেখাকার শৃঙ্খল। পলিরাইবোনিউক্লিওটাইড ও পলিডিঅক্সি-রাইবোনিউক্লিওটাইডের ক্ষারীয় ও উৎসেচকের আর্দ্র বিশ্লেষণ দ্বারা নিশ্চিত প্রমাণিত হইয়াছে যে, একটি নিউক্লিওটাইডের 3′-কার্বনস্থানের সহিত অপর নিউক্লিওটাইডের 5′-কার্বন স্থানের ফসফোটাইড এস্টার যোজক স্থাপিত হয়। উদাহরণস্বরূপ ATCG দ্বারা নিউক্লিওটাইড এবং p দ্বারা ফস্ফেট সূচিত হইলে, নিউক্লিওটাইডের এস্টারীকরণ শর্করার 3′-কার্বন স্থানে ঘটিলে p সংকেতটি নিউক্লিওটাইডের দক্ষিণপার্শ্বে অবস্থিত থাকিবে; অপরপক্ষে এস্টারীকরণ 5′-কার্বন স্থানে ঘটিলে p সংকেতটি নিউক্লিওটাইডের বামপার্শ্বে অবস্থিত থাকিবে। সুতরাং ApGpC অর্থ অ্যাডিনিনের 3′-কার্বন স্থানের (Ap) সহিত গুয়ানিনের 5′-কার্বন স্থানে (pG) এবং গুয়ানিনের 3′ কার্বন স্থানের সহিত (Gp) সাইটোসিনের 5′-কার্বন স্থানে (pC) এস্টার যোজক স্থাপিত হয়।

চার্গফ (Chargaff) 1950 খৃষ্টাব্দে বিভিন্ন জীবের DNA অণুর বেস গঠন পরীক্ষা করিয়া স্থির করেন যে, অ্যাডিনিনের (A) মোলার (molar) পরিমাণ থাইমিনের (T) এবং গুয়ানিনের (G) মোলার পরিমাণ সাইটোসিনের (C) সমান। অ্যাস্টবেরী (Astburry) 1947 খৃষ্টাব্দে এবং রোসালিণ্ড ও গসলিং (Rosalind and Gosling) 1953 খৃষ্টাব্দে বিশুদ্ধ DNA অণুর X-রশ্মি বিচ্ছুরণ (diffraction) দ্বারা প্রমাণ করেন যে, DNA 20A ব্যাসবিশিষ্ট একটি দ্বিতন্ত্রী কুণ্ডলী (double stranded helix) বস্তু এবং প্রধান সূত্র দুইটি 34A অন্তর মিলিত হয়। বেসগুলি 3·4A অন্তর শর্করা ফস্ফেট কাঠামোর সমকোণে একসমতলে অবস্থিত। উপরোক্ত বৈজ্ঞানিকদের বিভিন্ন পরীক্ষা-লব্ধজ্ঞানের ফলে ওয়াটসন ও ক্রীক (Watson and Crick) 1953 খৃষ্টাব্দে DNA অণুর গঠন প্রস্তাব করেন। ওয়াটসন ও ক্রীকের প্রস্তাবিত নক্শা অনুযায়ী,

(i) DNA অণুর নিউক্লিওটাইড দুইটি বিপরীত সমান্তরাল (anti-parallel) অর্থাৎ অন্তবর্তী নিউক্লিওটাইড যোজকে একটি নিউ-ক্লিওটাইড কার্বন 3′ ও 5′ স্থানে এবং অপরটি কার্বন 5′ ও 3′ স্থানের সহিত যুক্ত ;

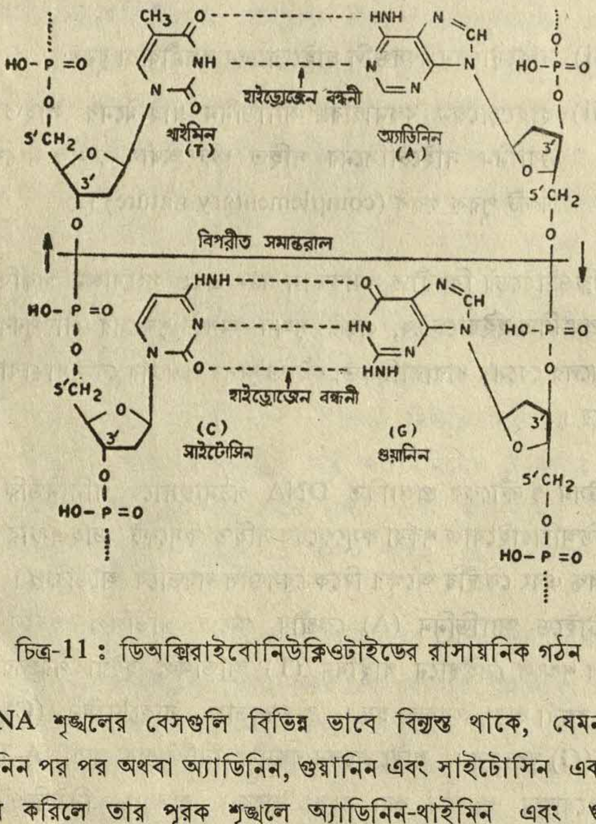
(ii) নাইট্রোজেন বেসগুলি হাইড্রোজেন বন্ধনীদ্বারা যুক্ত ;

এবং (iii) হাইড্রোজেন বন্ধনীদ্বারা অ্যাডিনিন থাইমিনের সহিত এবং গুয়ানিন সাইটোসিনের সহিত যুক্ত অর্থাৎ বেস সংযোজনটি একটি পূরক স্বরূপ (complementary nature)।

নিউক্লিওটাইডের বিপরীত সমান্তরাল গঠন এবং সংযোজন পদ্ধতি দ্বারা নিশ্চিত প্রমাণিত হইয়াছে যে, একটি শৃঙ্খল অপর শৃঙ্খলের পরিপূরক এবং একটি শৃঙ্খলের বেসের ধারাবাহিকতা হইতে অপর শৃঙ্খলের বেস ধারাবাহিকতা নির্ণীত হয়।

ওয়াটসন ও ক্রীকের প্রস্তাবিত DNA গঠনানুসারে পলিনিউক্লিওটাইড শৃঙ্খলটি ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করা ফস্‌ফেটের সহিত ফস্‌ফেট ডাইএস্টার বন্ধনী দ্বারা আবদ্ধ এবং কেন্দ্রীয় অক্ষের দিকে বেসগুলি লম্বভাবে অভিক্ষিপ্ত। একটি নিউক্লিওটাইডে অ্যাডিনিন (A) কেন্দ্রীয় অক্ষে অভিক্ষিপ্ত হইলে অপর সমান্তরাল শৃঙ্খলে সেইস্থানে থাইমিন (T) অভিক্ষিপ্ত হইয়া পরস্পর হাই-ড্রোজেন বন্ধনী দ্বারা আবদ্ধ হয়। অনুরূপভাবে, সাইটোসিন (C) স্থানে গুয়ানিন (G) যুক্ত হয়। হাইড্রোজেন বন্ধনীর নির্দিষ্টতার দ্বারা A-T এবং C-G সংযোজন অনুমান করা হইয়া থাকে। সুতরাং নিউক্লিওটাইডের দুইটি শৃঙ্খল একটি কেন্দ্রীয় অক্ষকে ঘিরিয়া পেঁচাইয়া রহিয়াছে এবং কেন্দ্রীয় অক্ষে অ্যাডিনিন-থাইমিন এবং সাইটোসিন-গুয়ানিন নির্দিষ্ট সংবন্ধনে আবদ্ধ। DNA পলিনিউক্লিওটাইড শৃঙ্খল দুইটি একটি দিকে আবর্তিত না হইয়া বিপরীত সমান্তরাল (antiparallel) অভিমুখী হয় অর্থাৎ সন্নিহিত T এবং C ডিঅক্সিরাইবোসাইড দুইটি ঐ শৃঙ্খলের 5′-3′ কার্বনস্থানে যুক্ত হয় ; অপর শৃঙ্খলের A এবং G পরিপূরক ডিঅক্সিরাইবোসাইড কার্বন 3′-5′ স্থানের সহিত যুক্ত (চিত্র-11)।

ওয়াটসন ও ক্রীকের প্রস্তাবিত DNA অণুর গঠনের সঠিকতা পরবর্তীকালে মিসেলসন এবং স্টল (Meselson and Stahl) 1958 খৃষ্টাব্দে এবং কর্ণবার্গ (Kornberg) 1967 খৃষ্টাব্দে সম্পূর্ণরূপে সমর্থন করেন।



চিত্র-11 : ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওটাইডের রাসায়নিক গঠন

DNA শৃঙ্খলের বেসগুলি বিভিন্ন ভাবে বিন্যস্ত থাকে, যেমন তিনটি অ্যাডিনিন পর পর অথবা অ্যাডিনিন, গুয়ানিন এবং সাইটোসিন একটির পর অবস্থান করিলে তার পূরক শৃঙ্খলে অ্যাডিনিন-থাইমিন এবং গুয়ানিন-সাইটোসিন সংবন্ধন নিয়মানুসারে অবস্থান করিবে। DNA বেস ধারাবাহিকতার মধ্যেই জেনেটিক সংকেত লিপি (genetic code) নিহিত [বিশদ আলোচনার জন্য অষ্টম অধ্যায়ে দ্রষ্টব্য]।

বিভিন্ন উদ্ভিদ কোষে DNA অণুর পরিমাণ বিভিন্ন। বিভিন্ন প্রজাতির মূলাগ্র কোষে DNA এবং RNA অণুর পরিমাণ নিম্ন তালিকায় নির্দেশিত হইল।

তালিকা 5 : বিভিন্ন উদ্ভিদের মূলাগ্র কোষে DNA ও RNA অণুর পরিমাণ।

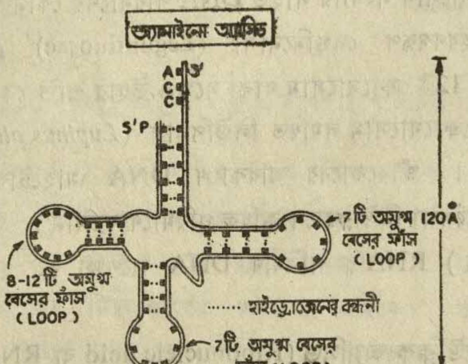
উদ্ভিদ প্রজাতি	প্রতিকোষে DNA (গ্রাম $\times 10^{-12}$)*	প্রতিকোষে RNA (গ্রাম $\times 10^{-12}$)*
ভুট্টা *(Zea mays)*	30·2	181·5
পেঁয়াজ *(Allium cepa)*	65·6	131·1
সিম *(Vicia faba)*	56·2	132·9
এগেভ *(Agave attenuata)*	14·4	69·1
টিউলিপা *(Tulipa gesneriane)*	100·7	182·7
লিলিয়াম *(Lilium longiflorum)*	141·1	339·5
নারসিসাস *(Narcissus pseudonarcissus*	64·9	117·6

উপরোক্ত তালিকা হইতে DNA অণুর পরিমাণ কোষে সাধারণতঃ 10×10^{-12} গ্রাম হইতে 100×10^{-12} গ্রাম পর্যন্ত পরিলক্ষিত হয়। ক্রোষের ক্রোমোসোম সংখ্যার সহিত DNA পরিমাণের কোন সুসংবদ্ধ সম্পর্ক নাই। উদাহরণস্বরূপ লেগুমিনোসী (Leguminosae) গোত্রের সিম (*Vicia faba*) 12টি ক্রোমোসোম থাকা সত্ত্বেও উহার প্রতি কোষে DNA-র পরিমাণ 48টি ক্রোমোসোম সমন্বিত লিউপিনাস (*Lupinus albus*) উদ্ভিদের প্রায় দশ গুণ। জীবকোষের অধিকাংশ DNA মাইটোক্নড্রিয়া এবং ক্লোরোপ্লাস্ট অপেক্ষা নিউক্লিয়াসে অধিক পরিমাণে বর্তমান। উদ্ভিদ কোষের (মূলাগ্র কোষে) RNA-র পরিমাণ DNA অপেক্ষা দুই হইতে ছয় গুণ বেশী।

রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড (Ribonucleic acid বা RNA) : রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড (RNA) অণুর গঠনটি রেখাকার এবং স্থানে স্থানে কুণ্ডলীত। RNA অণুর কুণ্ডলীকৃত স্থানে বিশেষ হাইড্রোজেন বন্ধন এবং পূরক বেস সংযোজন পরিলক্ষিত হয়। RNA গঠনে একাধিক 'U' আকৃতি বিশিষ্ট ফাঁস (hair-pin loop) বর্তমান থাকে।

* পিকোগ্রাম (Picogram) 10^{-12} গ্রাম।

RNA নিউক্লিওটাইডের শর্করা রাইবোজ (ribose) এবং নাইট্রোজেন বেসে থাইমিনের পরিবর্তে ইউরাসিল পরিলক্ষিত হয়। সাধারণ ভাবে কোষে তিন শ্রেণীর RNA বর্তমান: দ্রবনীয়* বা স্থানান্তরণ RNA (Soluble বা transfer RNA/sRNA বা tRNA), রাইবোসোমের RNA (ribosomal RNA বা rRNA) এবং বার্তাবহ RNA (messenger RNA বা mRNA)। উপরোক্ত তিন প্রকার RNA-ই কোষে প্রোটীন সংশ্লেষে অংশ গ্রহণ করিয়া থাকে। কোষে **দ্রবনীয়** *RNA* স্বল্প পরিমাণে পরিলক্ষিত হয়। ইহারা সাইটোপ্লাসমের তরল অংশে বিদ্যমান। ইহাদের অধিকাংশ অংশগুলি প্রোটীন সংশ্লেষের সময় অ্যামাইনো অ্যাসিডকে স্থানান্তরণ করে বলিয়া ইহাদের স্থানান্তরণ RNA বলা হয়। tRNA অণুগুলি কমবেশী 80টি নিউক্লিওটাইড সমন্বয়ে গঠিত। 20টি বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডকে স্থানান্তরিত করিবার জন্য 20টির বেশী tRNA বর্তমান। 1965 খৃষ্টাব্দে হোলি (Holley) ও সহকর্মীবৃন্দ ঈস্টে অ্যালানিন tRNA-র নিউক্লিওটাইড ধারাবাহিকতা প্রকাশ করেন। হোলির এই RNA গঠন ক্লোভার পাতার গঠনের (clover leaf structure) ন্যায় (চিত্র-12)।



চিত্র-12: অ্যালানিন t-রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিডের (tRNA) গঠন

* জীবকোষের এই নিউক্লিক অ্যাসিডগুলি বাফারে (buffer) পেষণ করিয়া কেন্দ্রাতিগ বলের (centrifugal force) দ্বারা পৃথকীকরণ সম্ভব হয় না এবং দ্রবণীয় ক্ষুদ্র অণুর সহিত মিশ্রিত হইয়া থাকে বলিয়া ইহাদের দ্রবণীয় RNA (soluble RNA) বলা হয়।

tRNA ক্লোভার পাতার গঠনের একপ্রান্তে (3′ প্রান্তে) সর্বদা CCA ধারাবাহিকতা দ্বারা শেষ হয়। অপর প্রান্তীয় (5′) নিউক্লিওটাইডটিতে থাকে গুয়ানাইলিক অ্যাসিড। tRNAটি একটি মাত্র শৃঙ্খল হইলেও স্থানে স্থানে DNA অণুর ন্যায় হাইড্রোজেন বন্ধনী দ্বারা যুক্ত পেঁচালো অংশ বিদ্যমান। অধিকাংশ tRNA তে A, G, C এবং U এই চারিটি স্বাভাবিক বেস ব্যতীত একাধিক অস্বাভাবিক (unusual) বেস বর্তমান (অ্যালানিন tRNA-র ক্ষেত্রে 77টি নিউক্লিওটাইডের মধ্যে 9টি অস্বাভাবিক বেস বর্তমান)। অস্বাভাবিক বেসগুলিতে এক বা একাধিক মিথাইল (– CH_3) বর্গ উপস্থিত। অস্বাভাবিক বেসগুলির কার্য এখনও সম্পূর্ণ জানা যায় নাই। উদ্ভিদে তাহাদের কেহ কেহ সাইটোকাইনিন (cytokinin) নামক উদ্বোধক বা হরমোন সংশ্লেষে কার্যকারী।

অ্যালানিন tRNA ব্যতীত আরও কয়েকটি tRNA-এর গঠনের বিশদ ব্যাখ্যা জানা গিয়াছে। সমস্ত tRNA-র ক্ষেত্রেই অ্যামাইনো অ্যাসিড সংযোজন ক্ষেত্রটি CCA প্রান্তে।

কোষের সম্পূর্ণ RNA-র শতকরা 80-90 ভাগ **রাইবোসোমের** *RNA* (*rRNA*)। এই জাতীয় RNA প্রোটীনের সহযোগে উপস্থিত এবং রাইবোসোম নামক কোষস্থ অঙ্গে গঠিত। উদ্ভিদ রাইবোসোম শতকরা 40 ভাগ RNA এবং 60 ভাগ প্রোটীন দ্বারা গঠিত।

বার্তাবহ *RNA* (messenger RNA, mRNA) কোষের তৃতীয় শ্রেণীর RNA। mRNA গুলি দীর্ঘ, এক স্থত্র বিশিষ্ট এবং অত্যন্ত অস্থায়ী। সম্পূর্ণ RNA-র শতকরা মাত্র 5 ভাগ mRNA এবং ইহারা জেনেটিক বার্তা বহন করিয়া নির্দিষ্ট উৎসেচক সৃষ্টিতে সাহায্য করে। বার্তাবহ RNA-র দৈর্ঘ্য নির্দিষ্ট প্রজাতির আয়তনের উপর নির্ভরশীল।

প্রোক্যারিওটিক ও ইউক্যারিওটিক কোষের mRNA-র মধ্যে পার্থক্য পরিলক্ষিত হয়। ইউক্যারিওটিক কোষে mRNA DNA গঠনের বার্তা বহন করে এবং প্রতিলিপি (transcription) গঠনের পর পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয় কিন্তু প্রোক্যারিওটিক কোষের ক্ষেত্রে এরূপ কোন পরিবর্তন ঘটে না। প্রোক্যারিওটিক কোষে নিউক্লিয়াসের কোন আবরনী না থাকায় প্রতিলিপি এবং ভাষান্তর (translation) পৃথক স্থানে সমাধা হইলেও ইউক্যারিওটের

ন্যায় সুসংবদ্ধ নয়। ইউক্যারিওটিক্ কোষে নিউক্লিয়াসে প্রতিলিপি গঠিত হইয়া কোষের 80S রাইবোসোম গাত্রে স্থানান্তরিত হইয়া ভাষান্তর ঘটে (বিশদ বিবরণের জন্য অষ্টম অধ্যায় দ্রষ্টব্য)। সর্বোপরি প্রোক্যারিওটিক mRNA, ইউক্যারিওটিক mRNA অপেক্ষা কম দৃঢ়।

নিউক্লিক অ্যাসিড সংশ্লেষ (Synthesis of Nucleic acid) ঃ

(1) **ডিঅক্সিরাইবো নিউক্লিক অ্যাসিড সংশ্লেষ** (DNA Synthesis) ঃ মাইটোসিস কোষ বিভাজনের পূর্বে অর্থাৎ ইন্টারফেজ অথবা প্রোফেজ প্রারম্ভে কোষের DNA পরিমাণ দ্বিগুণ হয়। DNA সংশ্লেষকারী উৎসেচক জীবাণু, উদ্ভিদ ও প্রাণীকোষ বর্তমান। অ্যাডিনিন, গুয়ানিন, সাইটোসিন ও থাইমিনের ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওটাইড ট্রাইফস্‌ফেট, ম্যাগনেশিয়াম আয়ণ এবং DNA অণুর ছাঁচের (template) উপস্থিতিতে DNA প্রস্তুত হয়। উৎসেচকের উপস্থিতিতে উপরোক্ত উপাদানগুলি কোষের বাহিরে (*in vitro*) DNA প্রস্তুত করে।

$$4n \text{ ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওটাইড ট্রাইফস্‌ফেট} \xrightarrow[\text{DNA ছাঁচ}]{\text{উৎসেচক}, Mg^{++}} DNA + 4n \text{ পাইরোফস্‌ফেট}$$

1956 খৃষ্টাব্দে কর্ণবার্গ (Kornberg) DNA প্রস্তুতকারী উৎসেচককে DNA পলিমারেজ (DNA polymerase) নামে আখ্যা দেন। DNA পলিমারেজ উৎসেচকের বিক্রিয়া উভমুখী হইলেও ক্রোমোসোমের DNA বিপরীত মুখী বিক্রিয়ায় ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওটাইড ট্রাইফস্‌ফেট প্রস্তুত করে না।

DNA পলিমারেজ কৃত নুতন DNA অণুর বেস উপাদান পুরাতন ছাঁচ DNA অণুর অনুরূপ।

(2) **রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড সংশ্লেষ** (RNA Synthesis) ঃ পলিনিউক্লিওটাইড ফস্‌ফোরাইলেজ (polynucleotide phosphorylase) এবং RNA পলিমারেজ (RNA polymerase) নামক দুইটি উৎসেচকের প্রভাবে RNA প্রস্তুত হয়। অ্যাডিনিন, ইউরাসিল, সাইটোসিন এবং গুয়ানিন নিউক্লিওটাইড ডাইফস্‌ফেট পলিনিউক্লিওটাইড ফসফোরাইলেজ উৎসেচকের প্রভাবে RNA প্রস্তুত হয়। উপরোক্ত উৎসেচকটি ছাঁচ-নির্দেশিত RNA

প্রস্তুত করে না এবং বিক্রিয়াটি উভমুখী বলিয়া, বৈজ্ঞানিকদের মতে এই উৎসেচকটি RNA প্রস্তুতিতে বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে না। RNA পলিমারেজ উৎসেচক নিউক্লিওটাইড ট্রাইফস্‌ফেট (ATP, UTP, CTP এবং GTP) এবং DNA ছাঁচের উপস্থিতিতে RNA প্রস্তুত করে (বিশদ বিবরণের জন্য অষ্টম অধ্যায় দ্রষ্টব্য)।

$$4n \text{ রাইবোনিউক্লিওটাইড ট্রাইফস্‌ফেট} \xrightarrow[\text{DNA ছাঁচ}]{\text{উৎসেচক } Mg^{++}} \text{RNA} + 4n \text{ পাইরোফস্‌ফেট}$$

বিভিন্ন প্রকার RNA উপরোক্ত পদ্ধতিতে DNA ছাঁচের সহযোগিতায় সংশ্লেষিত হয়। DNA অণুর একটি মাত্র সূত্র mRNA সংশ্লেষের সংকেত ছাঁচের কার্য করে। বিপরীত ট্রান্সক্রিপ্‌টেজ (reverse transcriptase) উৎসেচকটি এখানে বিশেষ কার্যকর।

গ্র

চতুর্থ অধ্যায়

উৎসেচক ও জৈবিক কর্মশক্তি সম্বন্ধীয় বিজ্ঞান

(Enzymes and Bioenergetics)

উৎসেচক (Enzymes)

জীবকোষে প্রোটীন একাধিক কার্য সম্পাদন করে। ইহারা জীবকোষের জৈবরসায়নিক বিক্রিয়াগুলিকে নির্দিষ্ট ও দক্ষভাবে চালিত করে। ইহাদিগকে গঠনকারী প্রোটীন (structural proteins) বলা হয়। সালোকসংশ্লেষ, শ্বসন বৃদ্ধি, জনন প্রভৃতি উদ্ভিদের বিভিন্ন কার্যগুলি জটিল জৈব রসায়নিক বিক্রিয়ার বহিঃপ্রকাশ মাত্র। এই বিক্রিয়াগুলি একটি নির্দিষ্ট গতি ও রীতিতে নিয়ন্ত্রিত হয়। জীবকোষে এই নিয়ন্ত্রণকারী জৈব অণুঘটকে **উৎসেচক** (enzymes) আখ্যা দেওয়া হইয়াছে। 'এনজাইম' শব্দটি প্রথম 1867 খৃষ্টাব্দে (Kuhne) ব্যবহার করেন। 1926 খৃষ্টাব্দে সামনার (Sumner) সর্বপ্রথম ইউরিয়েজ (urease) উৎসেচকটিকে কেলাসিত করিতে সমর্থ হন এবং তিনিই সর্বপ্রথম উৎসেচককে প্রোটীন ধর্মীরূপে আখ্যা দেন। সামনারের পর নর্থরূপ (Northrup) ও কুণিট্জ (Kunitz) একাধিক উৎসেচকের প্রোটীন ধর্মিতার কথা উল্লেখ করেন। সমস্ত উৎসেচক প্রোটীন হইলেও সব প্রোটীনই উৎসেচক নয়। গঠনকারী প্রোটীনের ন্যায় উৎসেচকও কোষে সংশ্লেষিত হয় এবং কোষের বিভিন্ন বিপাকীয় বিক্রিয়া হারকে ত্বরান্বিত করে। সাধারণ ভাবে কোষের বাহিরে অণুঘটকের কোন ক্রিয়া সম্পাদন করিতে অধিক চাপ ও উষ্ণতার প্রয়োজন হয়। কিন্তু জীবকোষে উৎসেচকের উপস্থিতিতে এই বিক্রিয়াগুলি কোষস্থ উষ্ণতা ও চাপে সংঘটিত হইয়া থাকে। অপ্রোটীন বা অজৈব অনুঘটক (catalyst) উৎসেচকের অধিকাংশ ক্ষেত্রে একটি বিশেষ বিক্রিয়ায় কার্যকর। উৎসেচকের এই বিশেষ ক্ষমতা তাহার একটি গুরুত্বপূর্ণ ধর্ম। বিভিন্ন উৎসেচকের অ্যামাইনো অ্যাসিডের ধারাবাহিকতা এবং ত্রিমাত্রিক গঠন তাহাদের এই বিশেষ ধর্মের জন্য দায়ী। প্রোটীন ধর্মিতার জন্য গাঢ় লবণ-দ্রবণ, তাপ, গাঢ় অ্যাসিড ও একাধিক জৈব দ্রাবকে উৎসেচকগুলির বিকলন (denature) হইয়া থাকে।

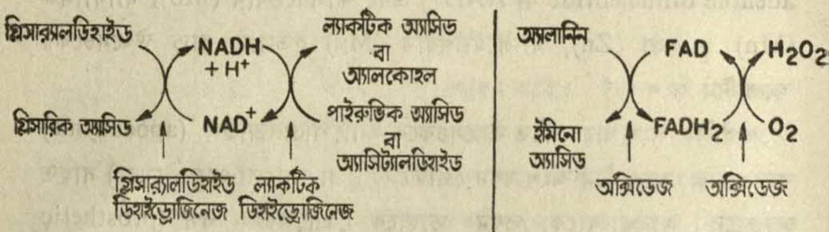
সহউৎসেচক এবং অ্যাপোএনজাইম (Coenzymes and Apoenzyme) : অনেক উৎসেচক প্রোটীন ও অপ্রোটীন এই দুইটি উপাদান দ্বারা গঠিত। উৎসেচকের কার্যকারিতার জন্য এই দুইটি উপাদানই দায়ী। ফ্ল্যাভিন অ্যাডিনিন ডাইনিউক্লিওটাইড (flavin adenine dinucleotide বা FAD), নিকোটিনামাইড অ্যাডিনিন ডাইনিউক্লিওটাইড (nicotinamide adenine dinucleotide বা NAD^+) এবং মলিবডেনাম (Mo), ম্যাঙ্গানিজ (Mn) ও দস্তা (Zn), ম্যাগনেশিয়াম (Mg) ইত্যাদি ধাতু উৎসেচকের অপ্রোটীন অংশ।

প্রোটীন অংশ দ্বারা গঠিত উৎসেচককে **অ্যাপোএনজাইম** (apoenzyme) বলা হয়। অপ্রোটীন অংশ যখন প্রোটীনের (বা অ্যাপোএনজাইমের) সহিত **দৃঢ়ভাবে** আবদ্ধ থাকে, তখন তাহাকে **প্রোস্থেটিক বর্গ** (prosthetic group) এবং **শিথিলভাবে** (অর্থাৎ সহজেই পৃথকীকরণ সম্ভব এমন ভাবে) আবদ্ধ থাকিলে তাহাকে **সহউৎসেচক** বা **কোএনজাইম** (coenzyme) বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ, সাক্সিনিক ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের প্রোস্থেটিক বর্গটি হইল FAD। NAD^+ বা $NADP^+$ (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) সহউৎসেচক বা কোএনজাইমের উদাহরণ। উৎসেচকের ধাতব উপাদান উৎসেচকের সহিত দৃঢ়ভাবে [যেমন, ট্রায়োজ ফস্ফেট ডিহাইড্রোজিনেজের সহিত দস্তা (Zn)] অথবা শিথিলভাবে [যেমন, নাইট্রেট রিডাকটেজের সহিত মলিবডেনাম (Mo)] আবদ্ধ থাকিতে পারে। সাধারণভাবে সহউৎসেচক বা প্রোস্থেটিক বর্গটি তাপ সহিষ্ণু (heat stable) কিন্তু অ্যাপোএনজাইম অংশটি উষ্ণতা অসহিষ্ণু (heat labile)। কোএনজাইম বা প্রোস্থেটিক বর্গ সমেত সমগ্র উৎসেচকটিকে **হলোএনজাইম** (holoenzyme) বলা হয়।

অ্যাপোএনজাইম + সহউৎসেচক ——→ হলোএনজাইম
(নিষ্ক্রিয়) (প্রোস্থেটিকবর্গ) (সক্রিয়)

সহউৎসেচক বিভিন্ন উৎসেচক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত দুইটি বিক্রিয়ার সহ-সাবস্ট্রেট (co-substrate) রূপে কার্য করে। অপরপক্ষে, প্রোস্থেটিক বর্গটি একই হলোএনজাইম দ্বারা নিয়ন্ত্রিত দুইটি বিভিন্ন সাবস্ট্রেটের সহিত বিক্রিয়া ঘটায়। উদাহরণস্বরূপ NAD^+ সহউৎসেকটি সাবস্ট্রেট হইতে ডিহাইড্রোজিনেজ

উৎসেচক দ্বারা মুক্ত হাইড্রোজেনকে গ্রহণ করে। হাইড্রোজেন গ্রহণ করায় NAD⁺র রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে (NADH)। অপর একটি উৎসেচক দ্বারা ইহারা পরবর্তী পর্যায়ে জারিত হইলে ইহাদের অনুঘটক ধর্মটি প্রকাশ পায়।



চিত্র-13A : দুইটি ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত বিক্রিয়ার NAD⁺র সহ-সাবস্ট্রেট রূপে অবস্থান

চিত্র-13B : একই উৎসেচক (অক্সিডেজ) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত দুইটি বিক্রিয়ায় প্রোস্থেটিক বর্গ ও অ্যাপোএনজাইমের সম্পর্ক

প্রোস্থেটিক বর্গ NAD⁺ (বা NADP⁺)-এর ন্যায় সহ-সাবস্ট্রেটরূপে কার্য করে না (চিত্র-13A)। একটি উৎসেচক (অক্সিডেজ) সাবস্ট্রেট হইতে হাইড্রোজেন মুক্ত করিয়া FAD নামক প্রোস্থেটিক বর্গে স্থানান্তরিত করে। ঐ একই উৎসেচক পরবর্তী পর্যায়ে হাইড্রোজেনকে অক্সিজেনে স্থানান্তরিত করিয়া H_2O_2 প্রস্তুত করে (চিত্র-13B)।

উৎসেচকের সাবস্ট্রেট বৈশিষ্ট্য (specificity) হলোএনজাইমের অ্যাপো-এনজাইম অংশে নিহিত এবং অ্যাপোএনজাইমের বিকলনে উৎসেচকের সক্রিয়তা নষ্ট হয়। অপরপক্ষে একটি সহউৎসেচক বিভিন্ন বিক্রিয়ায় কার্যকর (যেমন NAD⁺ পাইরুভিক ডিহাইড্রোজিনেজ, ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ, আইসোসিট্রিক ডিহাইড্রোজিনেজ প্রভৃতি বিভিন্ন উৎসেচকের কার্যে ব্যবহৃত হয়)। হলোএনজাইম (অর্থাৎ অ্যাপোএনজাইম) সাধারণতঃ একটি বিক্রিয়ায় কার্যকর। সুতরাং সাবস্ট্রেট এবং বিক্রিয়ায় বৈশিষ্ট্য (specificity) অ্যাপোএনজাইমের একটি বিশেষ ধর্ম।

অধিকাংশ সহউৎসেচক বর্গ স্থানান্তরণ বিক্রিয়ায় (group transfer

reaction) কার্যকর। সহউৎসেচকগুলি জৈবিক বিক্রিয়ায় নানাবিধ কার্য সম্পাদন করে এবং নিম্নলিখিত বর্গ স্থানান্তরণে বিশেষ কার্যকর।

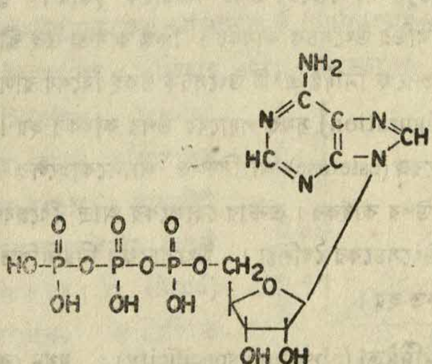
(i) কাইনেজ (kinase) উৎসেচকের সহউৎসেচক রূপে **অ্যাডিনোসিন ট্রাইফস্ফেট** (ATP) কার্য করে। ATP-র শক্তি সমন্বিত ফস্ফেট বন্ধনী বিক্রিয়াগুলিকে চালিত করে।

(ii) জৈবিক বিক্রিয়ায় গ্লাইকোসিল বর্গের (glycosyl group) দাতা-রূপে ইউরিডাইন ডাইফস্ফেট গ্লুকোজ (UDPG), গুয়ানোসিন ডাইফস্ফেট ম্যানোজ (GDPM) প্রভৃতি **নিউক্লিওটাইড ডাইফস্ফেট শর্করা** (nucleotide diphosphate sugar বা NDPS) বিশেষ কার্যকর।

(iii) **কোএনজাইম**-A (Co-A), সাক্সিনিল কোএনজাইম-A (succinyl Co-A), অ্যাসিটিল কোএনজাইম-A (acetyl Co-A) প্রভৃতি যৌগ হইতে কার্বক্সিলিক অ্যাসিড এবং অ্যাসিল (acyl) যৌগকে স্থানান্তরণ করে।

(iv) **টেট্রাহাইড্রোফোলিক অ্যাসিড** (tetrahydrofolic acid) একটি কার্বন যৌগ অথবা C_1-অংশকে একটি যৌগ হইতে অন্য যৌগে স্থানান্তরিত করে।

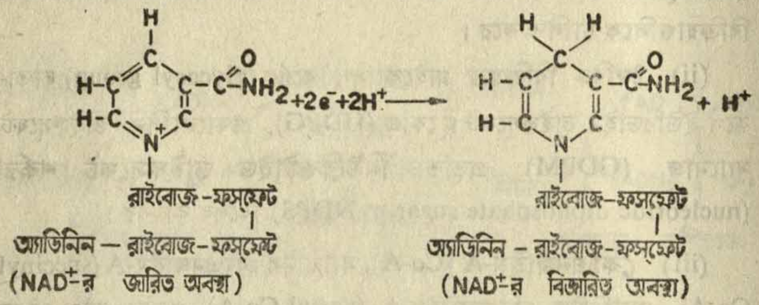
(v) **থায়ামিন পাইরোফস্ফেট** (thiamine pyrophosphate বা TPP) সক্রিয় অ্যালডিহাইড বা গ্লাইকল অ্যালডিহাইড বর্গকে স্থানান্তরিত করে।



চিত্র-14 : অ্যাডিনসিন ট্রাইফস্ফেট (ATP)-র গঠন

(vi) **পাইরিডক্সাল ফস্ফেট** (pyridoxal phosphate) অ্যামাইনো অ্যাসিড বিপাকে অ্যামাইনো বর্গকে স্থানান্তরণ করে।

(vii) NAD^+, $NADP^+$, FAD, FMN ইত্যাদি যৌগগুলি হাইড্রোজেন স্থানান্তরণ করে। সহউৎসেচকগুলি জীবকোষের একাধিক কার্যের সমন্বয়কারী (coordinator) উপাদান রূপে কার্য করে।



চিত্র 15 : জারিত NAD^+-র N^+ আধানপ্রাপ্ত থাকায় C=N দ্বিবন্ধীতে যুক্ত থাকে

উৎসেচকের নির্দিষ্টতা (Specificity of enzymes) : জীবকোষের বিপাকীয় পদ্ধতিতে উৎসেচকের নির্দিষ্টতা (specificity) একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। নির্দিষ্টতা অর্থে এখানে একটি বিশেষ সাবস্ট্রেট অথবা নিকট সম্বন্ধযুক্ত সাবস্ট্রেটের উপর ক্রিয়াকে বুঝায়। সুতরাং বিভিন্ন সাবস্ট্রেটের জন্য বিভিন্ন উৎসেচক কার্যকর। কিন্তু কার্যতঃ এই রীতি সর্বদা ফলপ্রসূ হয় না। প্রকৃতপক্ষে নির্দিষ্ট একটি উৎসেচক একই বিশেষ রাসায়নিক গঠনের (chemical configuration) সমস্ত পদার্থের উপর কার্যকর হয়। উদাহরণস্বরূপ এক জাতীয় এস্টারেজ (esterase) অ্যাসিড ও অ্যালকোহলের মধ্যে বিভিন্ন এস্টার যোজকের উপর কার্যকর। এস্টার যোজকের আর্দ্র বিশ্লেষণ দ্বারা বিচ্ছিন্ন করাই এস্টারেজ উৎসেচকের বৈশিষ্ট্য। উৎসেচকের নিম্নলিখিত চারি প্রকার নির্দিষ্টতা পরিলক্ষিত হয়।

(ক) **চরম নির্দিষ্টতা (absolute specificity) :** যখন কোন উৎসেচক একটি মাত্র সাবস্ট্রেটের ভাঙ্গন ক্রিয়া সমাধা করে তাহাকে চরম নির্দিষ্টতা বলা হয়। ইউরিয়েজ (urease) দ্বারা ইউরিয়ার ভাঙ্গন উৎসেচকের চরম নির্দিষ্টতার উদাহরণ।

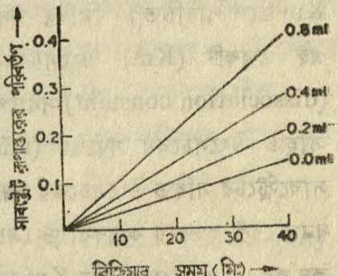
(খ) **চরম সমষ্টি নির্দিষ্টতা** (absolute group specificity) : উৎসেচক যখন কোন জৈব সমষ্টির উপর কার্যকর তাহাকে চরম সমষ্টি নির্দিষ্টতা বলা হয়। যেমন অ্যালকোহলের উপর অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজিনেজের কার্য। শ্বেতসারের (starch) উপর অ্যামাইলেজের (amylase) কার্যও উৎসেচকের চরম সমষ্টি নির্দিষ্টতার অপর একটি উদাহরণ।

(গ) **আপেক্ষিক সমষ্টি নির্দিষ্টতা** (relative group spicificity) : একই উৎসেচক যখন বিভিন্ন জৈব সমষ্টির উপর কার্যকর হয় তাহাকে আপেক্ষিক সমষ্টি নির্দিষ্টতা বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ ট্রিপসিন (trypsin), পেপটাইডেজ (peptidase) এবং এস্টারেজ (esterase) উৎসেচকের ন্যায় কার্য করে।

(ঘ) **ঘনরাসায়নিক বা দৃক্ নির্দিষ্টতা** (stereochemical or optical specificity) : যখন কোন উৎসেচক দৃক্ আইসোমারের (optical isomer) মধ্যে বিক্রিয়া ঘটায় তাহাকে ঘনরাসায়নিক বা দৃক্ নির্দিষ্টতা বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ, l-অ্যামাইনো অ্যাসিড অক্সিডেজ শুধুমাত্র l-অ্যামানো অ্যাসিডের উপর কার্যকর ; d-অ্যামাইনো অ্যাসিডের উপর কোন বিক্রিয়া ঘটায় না।

উৎসেচক বিক্রিয়ার উপর প্রভাব (Factors affecting enzymatic activity) :

1. **সাবস্ট্রেট-উৎসেচকের আন্তঃসম্পর্ক** (Substrate-enzyme interrelation) : উৎসেচকের বিক্রিয়ার হার উৎসেচকের ঘনত্বের উপর প্রত্যক্ষভাবে নির্ভরশীল। উৎসেচক ঘনত্ব ও বিক্রিয়া বেগের আন্তঃসম্পর্ক চিত্র-16 দেখানো হইয়াছে। সাবস্ট্রেট বৃদ্ধিতে উৎসেচক-সাবস্ট্রেটের সম্পর্ক ভিন্নরূপ পরিলক্ষিত হয়। স্থির (fixed) পরিমাণ উৎসেচকের উপস্থিতিতে সাবস্ট্রেট পরিমাণ 0·00025M হইতে 0·001M বৃদ্ধির ফলে,প্রতি অণু উৎসেচক সাবস্ট্রেটের সহিত বিক্রিয়া পর্যন্ত, বিক্রিয়ার হার প্রথম স্তরে অতীব বৃদ্ধি পায়। সাবস্ট্রেট পরিমাণের বৃদ্ধি



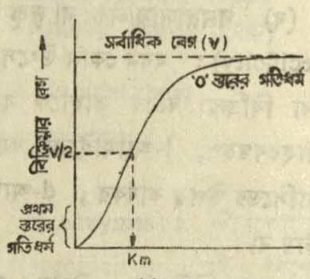
চিত্র-16 : উৎসেচক ঘনত্ব ও বিক্রিয়া বেগের আন্তঃসম্পর্ক

ঘটিলে বিক্রিয়ার হার হ্রাস পায় এবং সাবস্ট্রেট ঘনত্বের আরও বৃদ্ধির ফলে বিক্রিয়া বেগের কোন পরিবর্তন হয় না। সাবস্ট্রেটের উচ্চ ঘনত্বে বিক্রিয়ার বেগকে উৎসেচক বিক্রিয়ার **সর্বাধিক বেগ** (V) নামে পরিচিত (চিত্র-17)।

উৎসেচক-সাবস্ট্রেটের বিক্রিয়ার ফলে উৎসেচক-সাবস্ট্রেট যৌগ প্রস্তুত হয় এবং এই যৌগ উৎপাদিত ফল (products) এবং উৎসেচকে বিশ্লিষ্ট হয়।

সাবস্ট্রেট + উৎসেচক ⇌ সাবস্ট্রেট-উৎসেচক যৌগ → উৎপাদিত ফল + উৎসেচক
(S) (E) (ES complex) (Products) (E)

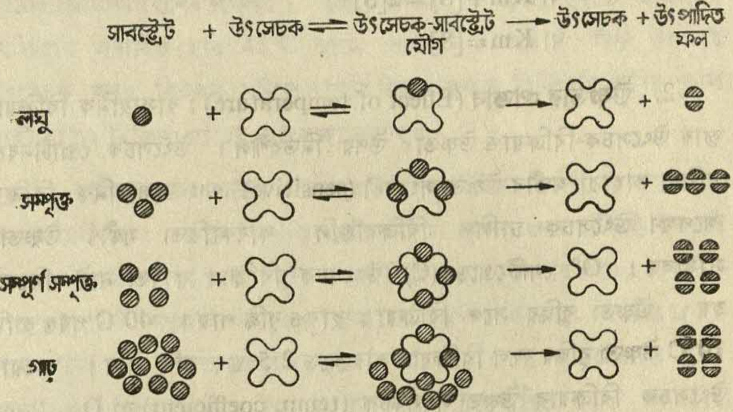
সর্বাধিক বেগ (maximum velocity) স্থানে প্রতি উৎসেচক অণু সাবস্ট্রেটের সহিত সম্পৃক্ত (saturated) অবস্থায় বর্তমান। সর্বাধিক বেগের অর্দ্ধস্থানে উৎসেচক অণুর অর্দ্ধেক মুক্ত অবস্থায় এবং অবশিষ্ট অর্দ্ধাংশ উৎসেচক-সাবস্ট্রেট যৌগ রূপে বর্তমান থাকে। যে সাবস্ট্রেট ঘনত্বে উৎসেচক বিক্রিয়ার সর্বাধিক বেগের অর্দ্ধেক উৎপাদিত হয় তাহাকে **মাইকেলিস-মেনটেন ধ্রুবক** (Michaelis-Menten constant) বলা হয়। এই ধ্রুবকটি Km রূপে পরিচিত। নির্দিষ্ট উষ্ণতা, pH এবং বাফার আয়নের শক্তিতে এই ধ্রুবকটি (Km) উৎসেচক-সাবস্ট্রেট যৌগের পৃথকীকরণ ধ্রুবকের (dissociation constant) সর্বাপেক্ষা নিকটবর্তী। Km ধ্রুবকটি সাবস্ট্রেটের সহিত উৎসেচকের সম্বন্ধের (affinity) পরিমাপ স্বরূপ। উচ্চ Km মানে সাবস্ট্রেটের সহিত উৎসেচকের সম্বন্ধ খুব কম অর্থাৎ উচ্চ Km মানে সাবস্ট্রেটের ঘনত্ব বেশী হওয়ায় কার্যকরী উৎসেচক স্বল্প থাকায় সাবস্ট্রেটের প্রতি সম্বন্ধও কম হয়। অপরপক্ষে নিম্ন Km মানে বিপরীত সম্বন্ধ পরিলক্ষিত হয়।



চিত্র-17 : সাবস্ট্রেট ঘনত্ব এবং বিক্রিয়া বেগের আন্তঃসম্পর্ক

উৎসেচক বিক্রিয়ায় মাইকেলিস-মেনটেন ধ্রুবক (Km) বিশেষ তাৎপর্যপূর্ণ। অতীব লঘু সাবস্ট্রেট ঘনত্বে, সাবস্ট্রেট বেগের সম্পর্ক রেখাকার (linear) এবং প্রথম স্তরের ধর্মের আজ্ঞাণুবর্তী (চিত্র-17)। অর্থাৎ A→B বিক্রিয়ার গতি

সাবস্ট্রেট ঘনত্বের আনুপাতিক। অপরপক্ষে গাঢ় সাবস্ট্রেট ঘনত্বে বিক্রিয়ার বেগ সর্বাধিক এবং সাবস্ট্রেটের উপর নির্ভরশীল নয়। সুতরাং এক্ষেত্রে ইহারা 'O'-স্তরের ধর্মের আজ্ঞানুবর্তী।



চিত্র-18 : উৎসেচকের সক্রিয় স্থান ও উৎসেচক-সাবস্ট্রেটের সম্পর্ক

মাইকেলিস (Michaelis) এবং সহকর্মীবৃন্দ 1913 খৃষ্টাব্দে বিভিন্ন সাবস্ট্রেট ঘনত্বে উৎসেচক বিক্রিয়ার দুইটি দশা লক্ষ্য করেন। লঘু সাবস্ট্রেট ঘনত্বে উৎসেচকের সক্রিয় স্থানগুলি সাবস্ট্রেট দ্বারা সম্পৃক্ত হয় না ; সুতরাং উৎসেচক সম্পূর্ণ ক্ষমতায় কার্যকর নয়। সাবস্ট্রেট অণুর বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে উৎসেচকের স্থানগুনি সম্পূর্ণ সম্পৃক্ত হয় এবং উৎসেচক কার্যের অন্য কোন গ্রহণসাধ্য স্থান না থাকায় উৎসেচকটি পূর্ণ ক্ষমতায় কার্যকর। উৎসেচকের সক্রিয় স্থান ও উৎসেচক-সাবস্ট্রেটের সম্পর্ক চিত্র-18তে দেখানো হইল।

মাইকেলিসের বিভিন্ন ব্যাখ্যা নিম্নলিখিত গাণিতিক সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$v=\frac{V[S]}{Km+[S]} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

v = নির্দিষ্ট সাবস্ট্রেট ঘনত্বে [S] পর্যবেক্ষণীয় বেগ

Km = মাইকেলিস-মেনটেন ধ্রুবক, মোল/লিটার

V = সাবস্ট্রেটের সম্পৃক্ত ঘনত্বে সর্বাধিক বেগ

$v = \frac{1}{2}V$ হইলে উপরোক্ত সমীকরণটি নিম্নরূপ হইবে

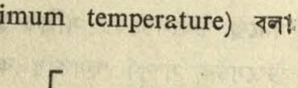
$$\frac{V}{2} = \frac{V[S]}{Km+[S]}$$

বা $Km+[S]=2[S]$

বা $Km=[S]$

2. **উষ্ণতার প্রভাব** (Effect of temperature) : রাসায়নিক বিক্রিয়ার ন্যায় উৎসেচক-বিক্রিয়াও উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল। উৎসেচক প্রোটীনধর্মী বলিয়া তাহারা অতীব উষ্ণতা সংবেদী (sensitive) এবং রাসায়নিক বিক্রিয়া অপেক্ষা উৎসেচক চালিত বিক্রিয়াগুলির কার্যকারিতা সঙ্কীর্ণ উষ্ণতায় সীমাবদ্ধ। O° সেন্টিগ্রেডে (C) উৎসেচক বিক্রিয়া কার্যতঃ নাই বলিলেই হয়। উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে বিক্রিয়ার হারও বৃদ্ধি পায়। 40°C পর্যন্ত প্রতি 10°C উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে বিক্রিয়ার হার গড়ে 2·5 গুণ বৃদ্ধি পায়। সুতরাং উৎসেচক বিক্রিয়ার উষ্ণতা সহসঙ্কটক (temp. coefficient) বা Q_{10} 2-এর অধিক হয়। উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে, সাবস্ট্রেট ও উৎসেচকের গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় এবং উচ্চ উষ্ণতায় সাবস্ট্রেট ও উৎসেচকের অণুগুলি বেশী সক্রিয়া হওয়ায় সাবস্ট্রেট ও উৎসেচক অণুগুলির সংযোজন বৃদ্ধি পায়।

35°C হইতে 40°C পর্যন্ত উৎসেচক বিক্রিয়ার বেগ সর্বাধিক বলিয়া এই উষ্ণতাকে পরম উষ্ণতা (optimum temperature) বলা হয়। পরম উষ্ণতার উর্দ্ধে বিক্রিয়ার হার হঠাৎ হ্রাস পায় কিন্তু পরম উষ্ণতা পর্যন্ত ক্রমাগত উষ্ণতা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি প্রাপ্ত হয় (চিত্র-19)। 40°C উষ্ণতার উর্দ্ধে উৎসেচকের বিকলন ধর্মটি বিশেষ ভাবে কার্যকর হয়। উৎসেচকের আণবিক গঠনের স্থানে স্থানে শিথিল হাইড্রোজেন বন্ধনী দ্বারা যুক্ত। উচ্চ উষ্ণতায় (বা উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে) এই হাইড্রোজেন বন্ধনীগুলি মুক্ত হওয়ায় উৎসেচকের বৈশিষ্ট নষ্ট হয়। ফলে উৎসেচকের অণুঘটক ধর্ম বিনষ্ট হয়। উচ্চ উষ্ণতায় উৎসেচকের এই পরিবর্তনকে বিকলন

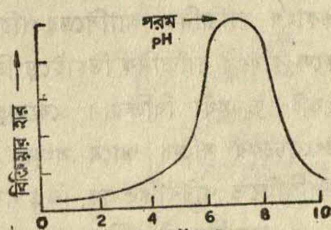


চিত্র-19 : উষ্ণতা ও উৎসেচক বিক্রিয়া হারের সম্পর্ক

(denaturation) বলা হয়। প্রোটীনের তথা উৎসেচকের বিকলন অর্থই হইল জৈবিক বিক্রিয়ার পরিবর্তন।

উষ্ণতার সহিত উৎসেচকের প্রভাব আলোচনাকালে সময়ের প্রভাবও (time factor) বিশেষ লক্ষণীয়। উপরোক্ত লেখ (graph) হইতে উৎসেচক বিক্রিয়ার সর্বাধিক হার 45°C স্থানে পরিলক্ষিত হয়। উক্ত উষ্ণতায় উৎসেচক অণুর বিকলন ঘটিতে থাকায় উক্ত উষ্ণতায় বিক্রিয়ার অধিক কাল স্থায়ী হইলে বিক্রিয়া হারের হ্রাস লক্ষ্য করা হয়।

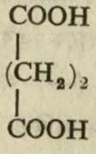
3. **হাইড্রোজেন আয়ন ঘনত্বের প্রভাব** (Effect of hydrogen-ion cocentration): উৎসেচকগুলি প্রোটীনধর্মী। অধিকাংশ প্রোটীনই উভধর্মী (amphoteric) পদার্থ অর্থাৎ ক্ষার ও অ্যাসিডের ন্যায় ব্যবহার করে। আম্লিক দ্রবণে প্রোটীন অণুগুলি ধন (+) আধানপ্রাপ্ত থাকে এবং ক্ষারীয় দ্রবণে অ্যামাইনো বর্গ হইতে প্রোটন মুক্ত হইয়া ঋণ (—) আধানপ্রাপ্ত হয়। সুতরাং pH-এর পরিবর্তনে উৎসেচক বিক্রিয়ার প্রভাবান্বিত হয়। আয়ণের প্রভাব ব্যতীত নিম্ন ও উচ্চ pH মানে প্রোটীনের বিকলন হওয়ায় উৎসেচকের সক্রিয়তা নষ্ট হয়। বিভিন্ন pH মানে উৎসেচক বিক্রিয়ার লেখটি একটি ঘণ্টাকৃতি (bell shaped) হয় (চিত্র-20)। সাধারণ অবস্থায় উৎসেচক বিক্রিয়ার পরম (optimum) pH-এর মান 5·0 হইতে 9.0 মধ্যে পরিলক্ষিত হয় [লেখের সমতল (plateau) অঞ্চল]। উপরোক্ত pH প্রান্তসীমার (5·0-9·0) বাইরে অধিকাংশ উৎসেচকের বিকলন হয়।



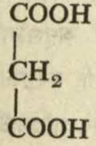
চিত্র-20 : pH ও উৎসেচক বিক্রিয়া হারের সম্পর্ক

4. **প্রতিরোধক** (Inhibitors): সাবস্ট্রেট ব্যতীত একাধিক রাসায়নিক যৌগ উৎসেচকের সহিত সংযুক্ত হইতে পারে ফলে উৎসেচকের অনুঘটন ক্রিয়া ব্যাহত হয়। এই সমস্ত রাসায়নিক যৌগকে **প্রতিরোধক** (Inhibitors) বলা হয়। প্রতিরোধক যৌগগুলি অজৈব (যেমন ভারী ধাতব ক্যাটায়ন) অথবা জৈব হইতে পারে। প্রতিরোধক যৌগগুলি প্রতিদ্বন্দ্বী (competitive) অথবা অপ্রতিদ্বন্দ্বী (non-competitive) দুই-ই হইতে পারে।

ক. **প্রতিদ্বন্দ্বী প্রতিরোধক** (Competitive intibitors) সাবস্ট্রেট যৌগের গঠনের অনুরূপ বলিয়া উৎসেচকের সক্রিয় স্থানে প্রতিযোগিতামূলক কার্য করে। উৎসেচক ও প্রতিরোধক বস্তুর মধ্যে সংযোগ স্থাপনের ফলে কার্যকর উৎসেচকের ঘনত্বের পরিমাণ হ্রাস পায়। ফলে বিক্রিয়ার হারও হ্রাস পায়। প্রতিরোধক ও উৎসেচকের সংযোগের ফলে প্রতিরোধক বস্তুর ধর্মের পরিবর্তন হয় না। সাবস্ট্রেটের ঘনত্ব বৃদ্ধি করিলে প্রতিদ্বন্দ্বী প্রতিরোধক বস্তুর প্রভাবকে অতিক্রম করা সম্ভব। উদাহরণ স্বরূপ বলা যায়, সাক্সিনিক ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচক সাক্সিনিক অ্যাসিডকে ফিউমারিক অ্যাসিডে রূপান্তরিত করে। ম্যালনিক অ্যাসিডের রাসায়নিক গঠন সাক্সিনিক অ্যাসিডের অনুরূপ, সুতরাং ম্যালনিক অ্যাসিডের উপস্থিতিতে সাক্সিনিজ ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের



সাক্সিনিক অ্যাসিড



ম্যালনিক অ্যাসিড

একাংশ সাক্সিনিক অ্যাসিডের পরিবর্তে ম্যালনিক অ্যাসিডের সহিত যুক্ত হয়, ফলে কার্যকর সাক্সিনিক ডিহাইড্রোজিনেজের পরিমাণ হ্রাস পায়। প্রতিরোধক একটি উভমুখী বিক্রিয়া। যেহেতু এই ধরনের বিক্রিয়ায় প্রতিরোধক, উৎসেচকের সক্রিয় স্থানে সংযুক্ত হয়, উৎসেচকের Km প্রতিরোধকের উপস্থিতিতে পরিবর্তিত হয়, কিন্তু সর্বাধিক বেগ অপরিবর্তিত থাকে।

খ. **অপ্রতিদ্বন্দ্বী প্রতিরোধক** (Non-competitive inhibitors) উৎসেচক সাবস্ট্রেটের সংযুক্তি স্থান ব্যতীত অন্য স্থানেও যুক্ত হয়। অপ্রতিদ্বন্দ্বী প্রতিরোধক সাবস্ট্রেট ঘনত্ব বৃদ্ধিতে অতিক্রম করা সম্ভব নয়। প্রতিরোধক উৎসেচক গাত্রে যুক্ত থাকে এবং সাবস্ট্রেট ঘনত্ব বৃদ্ধিতে ও প্রতিরোধক স্থানচ্যুত করা সম্ভব নয়। সুতরাং এই জাতীয় বিক্রিয়ায় সাবস্ট্রেট ঘনত্বের কোন প্রভাব নাই। অপ্রতিদ্বন্দ্বী প্রতিরোধকের ক্ষেত্রে Km-এর কোন পরিবর্তন ঘটে না। যে সমস্ত ধাতব আয়ণ উৎসেচকের বিক্রিয়া স্থলে সালফাহাইড্রিল বর্গকে (-SH group) বিক্রিয়া করে তাহারা সাধারণ ভাষায় অপ্রতিদ্বন্দ্বী প্রতিরোধক। এই জাতীয় প্রতিরোধক বিক্রিয়ায় প্রতিরোধকের ঘনত্ব এবং প্রতিরোধক ও উৎসেচকের সম্বন্ধের উপর নির্ভরশীল।

সালফাহাইড্রিল সমন্বিত ট্রায়োজ ফস্‌ফেট ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের উপর আয়ডো অ্যাসিটামাইডের (iodo acetamide) বিক্রিয়া একটি অপ্রতিদ্বন্দ্বী প্রতিরোধক বিক্রিয়ার উদাহরণ।

$$ICH_2CONH_2 + \text{উৎসেচক-SH} \rightarrow \text{উৎসেচক } S - CH_2CONH_2 + HI$$

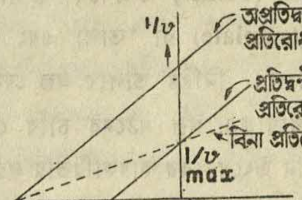
একাধিক ভেষজ উপাদানের (drugs) জীবকোষের বিশেষ উৎসেচকের উপর নির্দিষ্ট প্রতিরোধক বস্তুর প্রভাব পরিলক্ষিত হয়।

1934 খৃষ্টাব্দে লাইউইনেভার এবং বার্কের (Lineweaver and Burk) মতে উপরোক্ত সমীকরণের বিপরীত (reciprocal) সমীকরণটি ;

$$\frac{1}{v} = \frac{Km}{V}\left(\frac{1}{[S]}\right) + \frac{1}{V}$$

ইহা প্রকৃতপক্ষে সরলরেখা সমীকরণের $(y = mx + C)$ অনুরূপ।

উৎসেচক বিক্রিয়ার প্রতিদ্বন্দ্বী প্রতিরোধক প্রয়োগ করিয়া লেখের 1/v মানকে কোটি (ordinate) এবং 1/[S] মানকে ভুজে (abscissa) বিপরীত ভাবে চিহ্নিত (reciprocal plot) করিলে দুইটি অসমান্তরাল সরলরেখা পাওয়া যায় (চিত্র-21)। এই সরল রেখাদ্বয় অসীম বিন্দুতে ভুজে রোধ (intercept) হয়। সুতরাং একটি অজ্ঞাত প্রতিরোধক যৌগের উপস্থিতিতে উৎসেচক ক্রিয়াকে লেখে চিহ্নিত করিলে উপরোক্ত রেখার ন্যায় হইলে সেই **অজ্ঞাত যৌগকে প্রতিদ্বন্দ্বী প্রতিরোধক যৌগ** বলিয়া বিবেচনা করা হয়। অপর পক্ষে, অজ্ঞাত যৌগের উপস্থিতিতে সরল রেখাটির ঢাল (slope) এবং রোধ (intercept) স্থানে বৃদ্ধি পাইলে কিন্তু Km মান সমান থাকিলে সেই **অজ্ঞাত যৌগটিকে অপ্রতিদ্বন্দ্বী প্রতিরোধক** বলিয়া বিবেচনা করা হয়।



চিত্র-21 : প্রতিদ্বন্দ্বী ও অপ্রতিদ্বন্দ্বী প্রতিরোধক যৌগের উপস্থিতিতে সাবস্ট্রেট [S] ও বিক্রিয়া বেগের [V] লেখ [graph]। [লাইউইনেভার ও বার্কের মতে]।

উৎসেচক-সাবস্ট্রেট যৌগ (Enzyme-Substrate Complex): সাবস্ট্রেটকে শণাক্ত করিবার ক্ষমতা, উৎসেচক-সাবস্ট্রেট যৌগ প্রস্তুত এবং উৎপাদিত ফল প্রস্তুত করণ হইতে সাবস্ট্রেটে গাত্রের নির্দিষ্ট স্থানে উৎসেচকের বন্ধন প্রণালী কল্পনা করা হইয়া থাকে। উৎসেচকের এই স্থানগুলি সক্রিয়। উৎসেচকের কিয়দাংশ সক্রিয় স্থানরূপে ব্যবহৃত হয়। উৎসেচক ও সাবস্ট্রেট বন্ধনের আণবিক ব্যাখ্যা সম্পূর্ণরূপে জানা যায় নাই। উৎসেচকের সক্রিয় স্থানে একটি ফাঁপা অঞ্চলের চতুর্দিকে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি অবস্থান করে। উৎসেচকের সক্রিয় স্থানে এই অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির পার্শ্ব শৃঙ্খলের সহিত সাবস্ট্রেট অণুগুলি শিথিল বন্ধনী দ্বারা যুক্ত থাকে। উৎসেচকের তৃতীয় এবং চতুর্থ পর্যায় ক্রমিক গঠন (tertiary and quaternary structure) উৎসেচকের সক্রিয় স্থান সৃষ্টিতে সাহায্য করে। অর্থাৎ প্রোটীনের ত্রিমাত্রিক (three dimensional) গঠন উৎসেচকের সক্রিয় স্থান প্রস্তুতিতে বিশেষ কার্যকর। এই কারণে প্রোটীনের ত্রিমাত্রিক গঠন বিনষ্ট হইলে উৎসেচকের কার্যকারিতাও নষ্ট হয়।

ফিশার (Fisher) উৎসেচক ও সাবস্ট্রেটের মিথস্ক্রিয়াকে (interaction) "ছাঁচ" (template) বা "তালা এবং চাবি" (lock and key) নক্শা রূপে কল্পনা করেন। নির্দিষ্ট তালার জন্য যেমন নির্দিষ্ট গঠনের (configuration) চাবির প্রয়োজন, অন্য গঠনের চাবি যেমন সেই তালার পক্ষে কার্যকর নয়; ঠিক তেমনি উৎসেচকের কার্যকারিতার জন্য সেই ধরনের সাবস্ট্রেটের প্রয়োজন। অন্য গঠনের সাবস্ট্রেটের সহিত উক্ত উৎসেচকের কোন কার্যকারিতা পরিলক্ষিত হয় না। অর্থাৎ সাবস্ট্রেটের গঠন উৎসেচকের গঠনের প্রতিরূপ হইলে তালা ও চাবির ন্যায় উৎসেচক সাবস্ট্রেট যৌগের মিলন ঘটে। কোশল্যাণ্ড (Koshland) উৎসেচক ও সাবস্ট্রেটের ক্রিয়াকে যোগ্য প্ররোচিত (induced fit) নক্শা রূপে অভিহিত করেন। ফিশারের মতানুসারে উৎসেচকের সক্রিয় স্থানটি অনমনীয় কিন্তু কোশল্যাণ্ডের মতে এই স্থানটি যথেষ্ট নমনীয় [flexible]। উৎসেচকের সক্রিয় স্থান ত্রিমাত্রিক গঠনের অনুরূপ হওয়ায় কোশল্যাণ্ডের মতবাদ ফিশারের মতবাদ অপেক্ষা অধিক যুক্তিসঙ্গত।

কোশল্যাণ্ডের "যোগ্য প্ররোচিত" নক্শা অনুযায়ী উৎসেচকের অমেরু (nonpolar) এবং মেরু (polar) অঞ্চল সাবস্ট্রেট বন্ধনে কার্যকর এবং সিষ্টাইন

নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডের –SH বর্গ ও ফসফোসেরিন [PS] যৌগগুলি অনুঘটনে অংশ গ্রহণ করে। সাবস্ট্রেটের অনুপস্থিতিতে অনুঘটক ও সাবস্ট্রেট বন্ধনের বর্গগুলি দূরত্বে থাকে কিন্তু সাবস্ট্রেট উপস্থিতির সঙ্গে উৎসেচক গঠনের পরিবর্তন ঘটে ; ফলে সাবস্ট্রেট বন্ধন এবং অনুঘটন পদ্ধতি সম্পন্ন হয়।

উভয় নক্শানুযায়ী উৎসেচকের সক্রিয় অংশে সাবস্ট্রেটের বন্ধন সংক্রান্ত বিষয় বিশদ আলোচিত হইলেও অনুঘটন পদ্ধতি সম্বন্ধে বৈজ্ঞানিকেরা এখনও পর্যন্ত কোন সুস্পষ্ট ব্যাখ্যা দিতে সমর্থ হন নাই।

উৎসেচকের নামকরণ ও শ্রেণীবিন্যাস (Nomenclature and Classification of Enzymes) : অধিকাংশ ক্ষেত্রে উৎসেচক তাহাদের উৎপত্তি স্থলেই স্থায়ী ভাবে কার্য করে ; ইহাদের **অন্তঃউৎসেচক** বা **এণ্ডোএনজাইম** (endoenzyme) বলা হয়। কোষের অধিকাংশ বিপাকীয় উৎসেচকগুলি এই শ্রেণীভুক্ত। অপরপক্ষে, পতঙ্গভুক্ উদ্ভিদের পরিপাক গ্রন্থি হইতে নিঃসৃত প্রোটীন পরিপাককারী উৎসেচক এবং একাধিক ব্যাক্‌টিরিয়ার উৎসেচক তাহাদের উৎপত্তিস্থল হইতে দূরে সক্রিয় হয়। এই শ্রেণীর উৎসেচককে **বহিঃউৎসেচক** বা **এক্সোএনজাইম** (exoenzyme) বলা হয়।

সাধারণত উৎসেচকের নামের শেষে -এজ (-ase) শব্দ দ্বারা উৎসেচক চিহ্নিত করা হয়। উৎসেচক যে ধরণের বিক্রিয়া সংঘটিত করে সেই অনুসারে বা সাবস্ট্রেটের নামানুসারে উৎসেচকের নামকরণ করা হয়। উৎসেচকদের কার্য অনুযায়ী তাহাদের বিভিন্ন শ্রেণীতে বিভক্ত হয়। যেমন, জারণ বিক্রিয়ার জন্য ডিহাইড্রোজিনেজ (dehydrogenase), বিজারণ বিক্রিয়ার জন্য রিডাক্‌টেজ (reductase), আর্দ্র বিশ্লেষণ ক্রিয়ার জন্য হাইড্রোলেজ (hydrolase) প্রভৃতি উৎসেচকের নাম রাসায়নিক বিক্রিয়া অনুযায়ী হইয়াছে। তবে অধিকাংশ ক্ষেত্রে উৎসেচকগুলিকে সাবস্ট্রেট এবং বিক্রিয়া অনুযায়ী চিহ্নিত হইয়া থাকে। যেমন সাইটোক্রোম অক্সিডেজ (cytochrome oxidase), অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজিনেজ (alcohol dehydrogenase), নাইট্রেট রিডাক্টেজ (nitrate reductase)। লাইপেজ (lipase), অ্যামাইলেজ (amylase) প্রভৃতি উৎসেচকগুলি সাবস্ট্রেটের নামানুসারে হইয়াছে।

উৎসেচক নামকরণের কোন সর্বসম্মত পদ্ধতি না থাকায় একই উৎসেচককে বিভিন্ন নামে অথবা বিভিন্ন উৎসেচককে একই নামে অভিহিত করার রীতি

বহুকাল প্রচলিত ছিল। 1961 খৃষ্টাব্দে ইণ্টারন্যাশানাল ইউনিয়ন অফ বায়োকেমিষ্ট্রির সুপারিশ অনুযায়ী উৎসেচকের একটি সুসম্বদ্ধ শ্রেণীবিন্যাস করা হইয়াছে। এই শ্রেণীবিন্যাস অনুযায়ী উৎসেচকদের ছয়টি ভাগে বিভক্ত করা হয়, যথা—

1. **অক্সিডো রিডাক্টেজ** (oxidoreductase) : এই শ্রেণীভুক্ত উৎসেচকগুলি সাবস্ট্রেটকে জারিত বা বিজারিত করে। এই উৎসেচকগুলি ইলেক্ট্রন (e^-) এবং হাইড্রোজেন আয়ণ (H^+) স্থানান্তরনে কার্যকর। ডিহাইড্রোজিনেজ (dehydrogenase), অক্সিডেজ (oxidase) রিডাক্টেজ (reductase) প্রভৃতি উৎসেচকগুলি অক্সিডো-রিডাক্টেজ উৎসেচকের উদাহরণ। উরোক্ত উৎসেচকগুলি ক্রিয়া পদ্ধতি অনুসারে সূচিত হয়। উদাহরণস্বরূপ,

1. 1 CH—OH বর্গ দাতারূপে কার্য করে

1. 1. 1 NAD^+ বা $NADP^+$ গ্রহীতারূপে কার্য করে

1. 1. 1. 1 অ্যালকোহল—NAD^+ অক্সিডো রিডাক্টেজ (গতানুগতিক অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের নাম)

অনুরূপ ভাবে

1. 2 অ্যালডিহাইড বা কিটো বর্গ দাতারূপে কার্য করে

1. 3 CH—CH বর্গ দাতারূপে কার্য করে

1. 4 CH—NH_2 বর্গ দাতারূপে কার্য করে

2. **ট্রান্সফারেজ** (Transferase) : এই শ্রেণীভুক্ত উৎসেচক একটি মূলককে নির্দিষ্ট সাবস্ট্রেট হইতে অপর একটি সাবস্ট্রেটে স্থানান্তরিত করে। সাবস্ট্রেটের কার্বন, অ্যালডিহাইড বা কিটল অংশ, সালফার-, ফসফরাস- অথবা নাইট্রোজেন-সমন্বিত অংশ অন্য কোন যৌগের সহিত যুক্ত হয়। ট্রান্সঅ্যামিনেজ (transaminase), কাইনেজ (kinase), ফসফোরাইলেজ (phorphorylase), ট্রান্সঅ্যাসিটিলেজ (transacetylase) প্রভৃতি ট্রান্সফারেজ উৎসেচকের উদাহরণ।

3. **হাইড্রোলেজ** (Hydrolase) : এই উৎসেচকগুলি সাধারণতঃ জলের উপস্থিতিতে সাবস্ট্রেটের আর্দ্র বিশ্লেষণ ঘটায়। সাবস্ট্রেটের আর্দ্র বিশ্লেষণের উপর ভিত্তি করিয়া উৎসেচকগুলির নামকরণ করা হয়। উদাহরণ-স্বরূপ গতানুগতিক লাইপেজ (lipase) গ্লিসারল এস্টার হাইড্রোলেজ

(glycerol ester hydrolase) নামে অভিহিত। অ্যামাইলেজ (amylase), ইউরিয়েজ (urease), পেপটাইডেজ (peptidase), ফসফেটেজ (phosphatase), এটিপিয়েজ (ATPase) প্রভৃতি গতানুগতিক (trivial) উৎসেচকগুলি হাইড্রোলেজ শ্রেণী যুক্ত।

4. **লায়েজ** (Lyases) : এই শ্রেণীর উৎসেচক আর্দ্র বিশ্লেষণ, জারণ বা বিজারণ ব্যতিরেকে সাবস্ট্রেটের মূলককে স্থানান্তরিত করে। ইহারা C-C(4·1), C-O(4·2), C-N(4·3) প্রভৃতি যোজকের উপর কার্য করে। অ্যালডোলেজ (aldolase), আইসোসিট্রেট লায়েজ (isocitrate lyase), সিট্রেট সিস্থেটেজ (citrate synthase) প্রভৃতি গতানুগতিক উৎসেচক এই শ্রেণীভূক্ত।

5. **আইসোমারেজ** (Isomerase) : এই উৎসেচকগুলি পরমাণুগুলির পুনঃ আন্তপরিবর্তনে কার্য করে। এপিমারেজ (epimerase), মিউটেজ (mutase), সিস্-ট্রান্স আইসোমারেজ (*crs-trans* isomerase) প্রভৃতি গতানুগতিক উৎসেচক এই শ্রেণীভুক্ত।

6. **লাইগেজ** (Ligase) : এই উৎসেচকগুলি বিক্রিয়াকালে C-O (6·1), C-S (6·2), C-N (6·3) এবং C-C (6·4) বন্ধনীর দ্বারা দুই সাবস্ট্রেটকে বন্ধন করে। সাক্সিনিক থায়োকাইনেজ (succinic thiokianase) সাক্সিনিল কো-A সিস্থেটেজ (succinyl Co-A synthetase), পাইরুভিক কার্বক্সিলেজ (pyruvic carboxylase) প্রভৃতি গতানুগতিক উৎসেচকগুলি এই শ্রেণীভুক্ত।

আইসোএনজাইম (Isoenzymes) : একই জীবকোষে যখন একটি উৎসেচক বহুবিধ আণবিক গঠনে উপস্থিত থাকে তখন তাহাকে **আইসোএনজাইম** (isoenzyme) বা **আইসোজাইম** (isozymes) বলা হয়। সর্বাপেক্ষা অধিক পরীক্ষিত আইসোএনজাইম, ল্যাক্টিক ডিহাইড্রোজিনেজ (lactic dehydrogenase বা LDH) অধিকাংশ মেরুদণ্ডী প্রাণীতে পাঁচটি বিভিন্ন গঠনে উপস্থিত। LDH মূলত দুইটি ভাগে বিভক্ত। প্রথম শ্রেণী লঘু পাইরুভিক অ্যাসিডে প্রতিরোধী এবং হৃৎকোষে অধিক মাত্রায় সঞ্চিত থাকে, ইহাকে হৃৎ-LDH বলা হয়। অপর শ্রেণী পাইরুভিক অ্যাসিডে স্বল্প প্রতিরোধী এবং পেশীকোষে অধিক সঞ্চিত থাকে, ইহাকে পেশী-LDH বলা হয়। হৃৎ-LDH

এবং পেশী-LDH চারিটি সহএকক (sub-units) দ্বারা গঠিত। হৃৎ-LDH-এর সহএককে *H*-সহএকক এবং পেশী-LDH-এর সহএককে *M*-সহএকক নামে পরিচিত। উভয় সহএকক বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডে গঠিত এবং ইহাদের অনাক্রম্য (immunological) ধর্মও বিভিন্ন। আইসোএনজাইমের সহএককগুলি পৃথক জীনের কার্যে প্রস্তুত হয়।

স্যানন (Shannon), কে (Kay) এবং লিউ (Lew) 1966 খৃষ্টাব্দে হর্সর‍্যাডিস (horseradish) নামক কন্দমূলে পারক্সিডেজ উৎসেচকের আইসোএনজাইম আবিষ্কার করেন। তাহারা বিভিন্ন আধুনিক বৈজ্ঞানিক প্রক্রিয়ায় পারক্সিডেজের সাতটি আইসোএনজাইমের কথা উল্লেখ করেন।

অ্যাসপারটোকাইনেজ (aspartokinase) আইসোএনজাইমের অপর একটি বিশেষ উদাহরণ। অ্যাসপারটোকাইনেজ লাইসিন, মিথায়োনিন এবং থ্রিয়োনিন প্রস্তুতির জৈব সংশ্লেষ পথের প্রথম পর্যায়টি নিয়ন্ত্রিত করে। অ্যাসপারটোকাইনেজের তিনটি সমক্রিয়ামূলক (iso functional) গঠন বর্তমান। প্রথমটি লাইসিনের প্রভাবে, দ্বিতীয়টি থ্রিয়োনিনের প্রভাবে এবং তৃতীয়টি মিথায়োনিনের প্রভাবে অ্যাসপারটোকাইনেজ উৎসেচকের কার্যকারিতাকে বাধাপ্রদান করে। এই তিন প্রকার সমক্রিয়ামূলক উৎসেচকের প্রধান সুবিধা হইল যে লাইসিন মাত্রাতিরিক্ত হইলে লাইসিনের সংশ্লেষ বন্ধ হইয়া থ্রিয়োনিন বা মিথায়োনিনের সংশ্লেষ অব্যাহত থাকে। একই উপায়ে অপর যে কোন একটি মাত্রাতিরিক্ত হইলে অপর অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির সংশ্লেষ ব্যাহত হয় না। সুতরাং আইসোএনজাইমগুলি দক্ষ এবং সুন্দরভাবে অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লেষের নিয়ন্ত্রণ করে (স্যানন, Shannon, 1968)।

অ্যাসপারটিক অ্যাসিড {
অ্যাসপারটোকাইনেজ III
↑
——মিথায়োনিন
অ্যাসপারটোকাইনেজ II
↑
——থ্রিয়োনিন
অ্যাসপারটোকাইনেজ I
↑
——লাইসিন

জৈবিক কর্মশক্তি সম্বন্ধীয় তত্ত্ব (Bioenergetics)

জৈব বিষয়বস্তুর কাজ করিবার ক্ষমতাকেই শক্তি (energy) বলা হইয়া থাকে। এই শক্তি স্থৈতিক (potential), গতীয় (kinetic), তাপীয় (thermal), রাসায়নিক (chemical), তাড়িত (electrical), দীপ্ত (radiant) প্রভৃতি প্রকৃতিতে বিদ্যমান। জীবকোষের বিভিন্ন ভৌত ও রাসায়নিক ঘটনাসমূহ শক্তি পরিবর্তনের সহিত সম্পর্কযুক্ত। অজৈব পরিবেশে শক্তির এই পরিবর্তনের সূত্র সংক্রান্ত বিজ্ঞানকে তাপগতি বিদ্যা (thermodynamics) বা কর্মশক্তি সম্বন্ধীয় বিজ্ঞান (energetics) এবং জৈবিক পরিবেশে ইহাকে জৈবিক কর্মশক্তি সম্বন্ধীয় বিজ্ঞান (bioenergetics) বলা হয়। উদ্ভিদ জীবনে বিক্রিয়ায় নিয়ত শক্তির রূপান্তরণ ও স্থানান্তরণ ঘটে।

উদ্ভিদের জল চলাচল, মূলদ্বারা খনিজ পদার্থের শোষণ এবং বহুবিধ জৈব-রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি তাপগতি বিদ্যার নীতি অনুসারে চালিত হইয়া থাকে। সুতরাং তাপগতি বিদ্যার সূত্র (thermodynamic laws) সম্বন্ধে কিছু পর্যালোচনা করা প্রয়োজন। তাপগতি বিদ্যার **প্রথম সূত্র** অনুসারে বলা যায় এক ধরনের শক্তি অন্য ধরনের শক্তিতে রূপান্তরিত হইলে শক্তি সৃষ্টি বা বিনষ্ট হয় না। তাপগতি বিদ্যার **দ্বিতীয় সূত্রে** বলা হইয়াছে যে তাপশক্তি (heat energy) সম্পূর্ণ কর্মশক্তিতে (work) রূপান্তরিত না হইয়া কিছুটা পরিবেশে ব্যাপ্ত হয়। শক্তি সরবরাহ ব্যতিরেকে কোনরূপ কার্য সম্ভব নয়। সমস্ত স্বতঃস্ফূর্ত কার্যের মধ্যেই শক্তির পরিবর্তন লক্ষ্য করা হয়। যেমন, উষ্ণ স্থান হইতে ঠাণ্ডা স্থানের দিকে তাপের গতি, ঘড়ির স্প্রীং-এর প্যাঁচ (uncoiling) অথবা কোন উচ্চস্থান হইতে জলের পতন। সমস্ত ঘটনাগুলিতেই একটি সাধারণ ধর্ম বিদ্যমান, সেই ধর্মটি হইল অণু বা শক্তির একটি এলোমেলো বিন্যাস (random arrangement)। দ্বিতীয় সূত্রের স্বতঃস্ফূর্ত কার্য হইতে ইহা নিশ্চিত প্রমাণিত হয় যে, অণু বা শক্তির এই এলোমেলো বিন্যাসের ফলে কর্মশক্তি ক্রমশ লোপ পায়। অণু বা শক্তির এই এলোমেলো বিস্তারকে **এনট্রপি** (entropy) বলা হইয়া থাকে এবং S সংকেত দ্বারা চিহ্নিত হয়। তাপগতি বিদ্যার **তৃতীয় সূত্রে** বলা হইয়াছে যে চরম শূন্য (0) উষ্ণতায় (অর্থাৎ -273·16°C) অধিকাংশ পদার্থের চরম এনট্রপি শূন্য (0)। এনট্রপির পার্থক্য ΔS দ্বারা চিহ্নিত হয়।

মুক্ত শক্তি (Free energy) : সমউষ্ণতায় কার্য করিবার জন্য প্রাপ্তিসাধ্য শক্তিকে গিব্‌সের মুক্ত শক্তি (Gibb's free energy) বলা হয়। গিব্‌সের মুক্ত শক্তিকে G সাংকেতিক চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। মুক্ত শক্তি পদার্থের একটি তাপগতি ধর্ম। কোন পদার্থের মুক্ত শক্তি নিম্নোক্ত সমীকরণদ্বারা চিহ্নিত করা হয় :

$$G = E + PV - TS$$

E = আভ্যন্তরীন শক্তি ; PV = চাপ ও আয়তনের ফল (PVকে ক্যালরি দ্বারা চিহ্নিত করা যায় ; এক লিটার-অ্যাটমস্ফিয়ার 24.2 ক্যালরির সমান) ; T = চরম উষ্ণতা ; S = এনট্রপি।

E এবং S G-এর অংশবিশেষ, সুতরাং G-এর মান নির্ণয় খুবই কষ্টকর। তবে কোন ভৌত বা রাসায়নিক পদ্ধতিতে সর্বশেষ এবং প্রারম্ভিক অবস্থায় শক্তির ব্যবধানকে ΔG অথবা ΔF বলা হয়। A ও B দুইটি পদার্থের রাসায়নিক বিক্রিয়ায় ($A \rightleftharpoons B$) উৎপাদিত B-এর মুক্ত শক্তির পরিমাণ উৎপাদক A-র মুক্ত শক্তির পরিমাণের কম হইলে মুক্তি শক্তি (ΔF বা ΔG) ঋণাত্মক (−) হইবে। এক্ষেত্রে বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত এবং **তাপমোচী** (exothermic বা exergonic)। একইভাবে B A-তে রূপান্তরিত হইলে বিক্রিয়াটি অধিক মুক্ত শক্তিতে সংঘটিত হয় এবং সেক্ষেত্রে ΔF (বা ΔG) ধনাত্মক (+) হইবে। ΔF (বা ΔG) ধনাত্মক (+) হইলে বিক্রিয়াটি সমাধা করিতে শক্তির প্রয়োজন হয়। ধনাত্মক (+) মুক্ত শক্তি সম্পন্ন বিক্রিয়াকে **তাপগ্রাহী** (endothermic বা endergonic) বলা হয়। A এবং B-র মুক্ত শক্তির পরিমাণ সমান হইলে ΔF (বা ΔG) শূন্য (0) এবং সেক্ষেত্রে বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় উপনীত হইবে। বিভিন্ন জৈবিক বিক্রিয়ায় মুক্ত শক্তির পরিবর্তনের (ΔF বা ΔG) তালিকা 6-এ দেখানো হইল।

কোন বিক্রিয়ায় মুক্ত শক্তির পরিবর্তনের পরিমাণ স্বল্প হইলে সক্রিয় অণুর গতীয় শক্তি বিক্রিয়া সম্পন্ন করিতে সক্ষম। মুক্ত শক্তির এই পরিবর্তন, বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবকের (equilibrium constant বা K) সহিত সম্পর্কযুক্ত এবং সমীকরণটি নিম্নরূপ

$$\Delta F = -RT\ln K$$

R = গ্যাস ধ্রুবক (1.987 ক্যালরি/মোল/ডিগ্রী)

T = চরম উষ্ণতা

lnK = সাম্য ধ্রুবকের প্রাকৃতিক লগ্যারিদ্‌ম (সংবর্গমান)

তালিকা 6 : pH 7 এবং 25° সেন্টিগ্রেডে (C) জৈবিক বিক্রিয়ায় মুক্ত শক্তির পরিবর্তন

জারণ (Oxidation)	মুক্ত শক্তির পরিবর্তন ΔF (ক্যালরি)
গ্লুকোজ $+ 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$	-686,000
ল্যাক্টিক অ্যাসিড $+ 3O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 3H_2O$	-326,000
আর্দ্রবিশ্লেষণ (hydrolysis)	
সুক্রোজ $+ H_2O \longrightarrow$ গ্লুকোজ + ফ্রাক্টোজ	-5,500
গ্লুকোজ-6-ফস্‌ফেট $+ H_2O \longrightarrow$ গ্লুকোজ $+ H_3PO_4$	-3,300
পরিবর্তন (change)	
গ্লুকোজ-1 ফস্‌ফেট $\longrightarrow$ গ্লুকোজ-6-ফস্‌ফেট	1,745
ফ্রাক্টোজ-6-ফস্‌ফেট $\longrightarrow$ গ্লুকোজ-6-ফস্‌ফেট	-400
দূরীকরণ (separation)	
ম্যালিক অ্যাসিড $\longrightarrow$ ফিউমারিক অ্যাসিড $+ H_2O$	+750
আয়নীকরণ (ionization)	
অ্যাসিটিক অ্যাসিড $+ H_2O \longrightarrow H_3O^+ + CH_3COO^-$ (অ্যাসিটেট আয়ণ)	+6,310

সুতরাং উৎপাদক ও উৎপাদিত ফলের হার হইতে ΔF নির্ণীত হয়। উদাহরণস্বরূপ, 0.020M গ্লুকোজ-1-ফস্‌ফেট ফস্‌ফোগ্লুকোমিউটেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে 25°C-এ বিক্রিয়া ঘটাইয়া 0.019M গ্লুকোজ-6-ফস্‌ফেট ও 0.001M গ্লুকোজ-1-ফস্‌ফেট প্রস্তুত করে। সুতরাং এক্ষেত্রে সাম্য ধ্রুবক (K) 0.019/0.001 অর্থাৎ 19 এবং উপরোক্ত বিক্রিয়ানুসারে,

$$\Delta F = -1.987 \times 298 \times \ln 19$$
$$= -1745 \text{ ক্যালরি/মোল}$$

তালিকা 7 ঃ সাম্য ধ্রুবক (K) ও মুক্ত শক্তির ($\triangle F$) সম্পর্ক (25°C)

সাম্য ধ্রুবক (K)	মুক্ত শক্তি ($\triangle F$) ক্যালরি/মোল
0.001	4089
0.01	2726
0.1	1·363
1.0	0·0
10.0	-1363
100.0	-2726
1000.0	-4089

অতএব উপরোক্ত তালিকা হইতে সাম্য ধ্রুবকের মান 1 হইলে, অর্থাৎ সমঘনত্বের যৌগে কোন বিক্রিয়া সংঘটিত হয় না। কিন্তু সাম্য ধ্রুবকের মান 1-এর বেশী হইলে (অর্থাৎ $\triangle F$ ঋণাত্মক (−) হইলে) রাসায়নিক বিক্রিয়া দক্ষিণ পার্শ্বে অগ্রসর হয় এবং মুক্ত শক্তি হ্রাস পায়। সাম্য ধ্রুবকের মান 1-এর কম হইলে (অর্থাৎ $\triangle F$ ধনাত্মক (+) হইলে) শক্তি প্রয়োগে বিক্রিয়া বিপরীত দিকে অগ্রসর হয়।

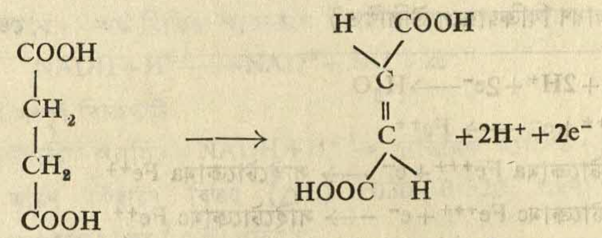
জারণ-বিজারণ বিভব (Oxidation-reduction Potentials) **:** কোষে জারণ-বিজারণ রাসায়নিক বিক্রিয়ায় মুক্ত শক্তির ($\triangle F$) পরিবর্তন জারণ-বিজারণ বিভবের (oxidation-reduction potential বা $\triangle E$) পরিবর্তনের সহিত সম্পর্কযুক্ত। হাইড্রোজেন ইলেক্ট্রোডের বিরুদ্ধে পরিমাপিত (measured) তাড়িত বিভবকে **জারণ-বিজারণ বিভব** (Redox potential) বলা হয়। লৌহ পরফাইরিন উৎসেচক (iron-porphyrin enzymes) সমূহ বিক্রিয়াকালে একটি মাত্র ইলেক্ট্রন (e^-) স্থানান্তরিত করে।

$$Fe^{+2} \underset{\text{বিজারণ}}{\overset{\text{জারণ}}{\rightleftharpoons}} Fe^{+3} + e^-$$

অধিকাংশ জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ায় একজোড়া ইলেক্ট্রন স্থানান্তরিত হয়

$$H_2Q \underset{\text{বিজারণ}}{\overset{\text{জারণ}}{\rightleftharpoons}} Q + H^+ + 2e^-$$

উপরোক্ত বিক্রিয়ায় ইহা নিশ্চিত যে, বিজারক বস্তু (reductant) ইলেক্ট্রন মুক্ত করিয়া জারিত হয় এবং জারক বস্তু (oxidant) ইলেক্ট্রন গ্রহণ করিয়া বিজারিত হয়। জীবকোষে একাধিক জৈব যৌগ বিজারক বস্তুরূপে ব্যবহৃত হয় এবং পরে জারিত হয়।



(সাক্সিনিক অ্যাসিড) (ফিউমারিক অ্যাসিড)

উপরোক্ত বিক্রিয়ায় ইলেক্ট্রনের নির্গমন (অথবা ব্যবহার) দেখানো হইলেও তাহাদের দাতা (বা গ্রহীতা) দেখানো হয় নাই সুতরাং এই বিক্রিয়াকে **অর্দ্ধবিক্রিয়া** (half reactions) বলা হয়। কোন পদার্থের ইলেক্ট্রন সরবরাহ বা গ্রহণ সেই পদার্থের নির্দিষ্ট একটি ধর্ম সুতরাং সেই সমস্ত পদার্থের জারণ-বিজারণ বিভবের মান নির্ণয় প্রয়োজন। এক্ষেত্রে হাইড্রোজেনকে (H_2) স্থির বা প্রামাণ্যরূপে (standard) ব্যবহার করা হয়। শূন্য (0) pH-এ হাইড্রোজেনের জারণ বিজারণ বিভব 0.000 ভোল্ট (V) ধরা হয়। কিন্তু pH বৃদ্ধির ফলে (pH 7-এ) জারণ বিজারণ বিভব -0.420 ভোল্ট (V)। হাইড্রোজেনের এই স্থিরমান হইতে জারণ বিজারণে সক্ষম যে কোন যৌগের বিভব নির্ণয় করা সম্ভব। একাধিক সহউৎসেচক ও সাবস্ট্রেটের বিভব নিম্নোক্ত তালিকায় (তালিকা-8) লিপিবদ্ধ হইল।

কোন বিক্রিয়ায় অধিক ধনাত্মক (+) বিজারণ বিভব স্থান হইতে অর্দ্ধ-বিক্রিয়াগুলি নিম্ন ধনাত্মক (+) বিজারণ বিভব স্থানে ধাবিত হয়। সুতরাং অক্সিজেন (O_2), লৌহ (Fe^{+++}) প্রভৃতি যৌগগুলি অধিক ধনাত্মক (+) বিজারণ বিভব সম্পন্ন হওয়ায় ইহারা উচ্চ জারক বস্তু (oxidizing agent); অপরপক্ষে অধিক ঋণাত্মক (−) বিজারণ বিভব সম্পন্ন বস্তুকে [যেমন হাইড্রোজেন (H_2), NADH ইত্যাদি] বিজারক বস্তু (reducing agent) বলা হয়।

তালিকা ৪ঃ জৈবিক প্রয়োজনীয় জারণ-বিজারণ অর্দ্ধবিক্রিয়ার জারণ-বিজারণ বিভব ($\triangle E$)

অর্দ্ধবিক্রিয়া (বিজারণ বিক্রিয়ারূপে উল্লিখিত)	$\triangle E$ (pH7.0) ভোল্ট (V)
$\frac{1}{2}O_2+2H^++2e^-\longrightarrow H_2O$	0·816
$Fe^{+++}+e^-\longrightarrow Fe^{++}$	0·771
সাইটোক্রোমa $Fe^{+++}+e^-\longrightarrow$ সাইটোক্রোমa Fe^{++}	0·290
সাইটোক্রোমc $Fe^{+++}+e^-\longrightarrow$ সাইটোক্রোমc Fe^{++}	0·250
ডিহাইড্রোঅ্যাসকরবিক অ্যাসিড $+2H^++2e^-\rightarrow$ অ্যাসকরবিক অ্যাসিড	0·060
ফিউমারিক অ্যাসিড় $+2H^++2e^-\longrightarrow$ সাক্সিনিক অ্যাসিড	0·030
সাইটোক্রোমb $Fe^{+++}+e^-\longrightarrow$ সাইটোক্রোমb Fe^{++}	-0·040
অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড $+2H^++2e^-\rightarrow$ ম্যালিক অ্যাসিড	-0·102
অ্যাসিট্যালডিহাইড$+2H^++2e^-\longrightarrow$ ইথাইল অ্যালকোহল	-0·163
পাইরুভিক অ্যাসিড $+2H^++2e^-\longrightarrow$ ল্যাকটিক অ্যাসিড	-0·190
$NAD^++2H^++2e^-\longrightarrow NADH+H^+$	-0·320
$H^++e^-\longrightarrow\frac{1}{2}H_2$	-0·420
ফেরিডক্সিন $Fe^{+++}+e^-\longrightarrow$ ফেরিডক্সিন Fe^{++}	-0·432
অ্যাসিটেট $+2H^++2e^-\longrightarrow$ অ্যাসিট্যালডিহাইড $+H_2O$	-0·468

মুক্তি শক্তির সহিত জারণ-বিজারণের গাণিতিক সম্পর্ক।

$$\triangle F=nF\triangle E$$

এখানে, n = জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ায় স্থানান্তরিত ইলেক্ট্রন সংখ্যা

F = ফ্যারাডে ধ্রুবক (23,063 ক্যালরি/ভোল্ট)

$\triangle E$ = জারক ও বিজারক বস্তুর বিজারণ বিভবের পার্থক্য

সুতরাং $\triangle E$ = [জারক বস্তুর অর্দ্ধ বিক্রিয়ার বিজারণ বিভব]—[বিজারক বস্তুর অর্দ্ধ বিক্রিয়ার বিজারণ বিভব]

উদাহরণস্বরূপ, ফিউমারিক অ্যাসিড ও NAD^+ বিক্রিয়ার অর্দ্ধ বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ ঃ

ফিউমারিক অ্যাসিড $+2H^+ + 2e^- \longrightarrow$ সাক্সিনিক অ্যাসিড

উপরোক্ত বিক্রিয়াটি অধিক বিজারণবিভবসম্পন্ন হওয়ায় ইহা বিজারণরূপে সম্পন্ন হইবে। অর্দ্ধ বিক্রিয়া জারণরূপে বিপরীত পথে সম্পন্ন হইবে।

$$NADH + H^+ \longrightarrow NAD^+ + 2H^+ + 2e^-$$

সুতরাং সম্পূর্ণ বিক্রিয়াটি

ফিউমারিক অ্যাসিড $+ NADH + H^+ \rightarrow$ সাক্সিনিক অ্যাসিড $+ NAD^+$

এবং জারণ বিজারণ বিভব ($\triangle E$) 0·030-(-0·320) অথবা 0·350 ভোল্ট এবং মুক্ত শক্তির ($\triangle F$) পরিমাণ

$$\triangle F = (-2)\ (23{,}063)\ (0{\cdot}350)$$
$$= -14{,}044 \text{ ক্যালরি}$$

একইভাবে, মুক্ত অক্সিজেন (O_2) কর্তৃক NADH-এর জারণ নিম্নোক্ত সমীকরণের দ্বারা সম্পাদিত হয়।

$$NADH + H^+ + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow NAD^+ + H_2O$$

এক্ষেত্রে, $n=2$ এবং $\triangle E = 0{\cdot}816\text{-}(-0{\cdot}320)$ অথবা 1·136 ভোল্ট

সুতরাং $\triangle F = (-2)\ (23{,}063)\ (1{\cdot}136)$

$$= -52{,}400 \text{ ক্যালরি}$$

যদিও মুক্ত শক্তির ঋণাত্মক (−) পরিমাণ অধিক তথাপি NADH-এর দ্রুত জারণের সহিত কোন সম্পর্ক নাই। প্রকৃতপক্ষে, অক্সিজেনের উপস্থিতিতে NADH খুবই স্থায়ী (stable) এবং নির্দিষ্ট উৎসেচকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়া সংঘটিত হয়।

শক্তিসম্পন্ন যৌগ (Energy rich compounds) ঃ রাসায়নিক শক্তি স্থানান্তরণে সমস্ত জীবাণু উদ্ভিদ ও প্রাণীকোষে একই মৌলিক কাঠামোয় আবদ্ধ। জারকীয় বিক্রিয়ায় প্রাপ্তিসাধ্য মুক্ত শক্তি বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়। একাধিক উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ফস্‌ফেট যৌগ তাপমোচী ও তাপগ্রাহী বিক্রিয়াগুলিতে সংযোগ-স্থাপনে কার্যকর। এই যৌগগুলি "শক্তিসম্পন্ন" কারণ এই যৌগগুলিতে অধিক শক্তি নিহিত থাকে এবং আর্দ্র বিশ্লেষণ বিক্রিয়ায় অধিক মুক্ত শক্তির নির্গত হয়।

অ্যাডিনোসিন ট্রাইফস্‌ফেট (adenosine triphosphate বা ATP) একটি সর্বব্যাপী যৌগ যাহাতে জারকীয় বিক্রিয়ায় উৎপাদিত শক্তি রাসায়নিক শক্তিতে সংরক্ষিত হয়। জীবকোষে স্বতঃস্ফূর্তভাবে যে সমস্ত বিক্রিয়া সংঘটিত হয় না, সেই বিক্রিয়াগুলি সংঘটিত করিতে রাসায়নিক শক্তি সরবরাহ করে ATP-র উচ্চ শক্তিসম্পন্ন যৌগ। অ্যাডিনিন (adenine) নামক নাইট্রোজেনযুক্ত বেস রাইবোজ শর্করার সহিত ফস্‌ফেট দ্বারা যুক্ত (বিশদ্ বিবরণের জন্য তৃতীয় অধ্যায়ে "নিউক্লিক অ্যাসিড" অংশ দ্রষ্টব্য)। অ্যাডিনোসিন ট্রাইফস্‌ফেটর (ATP) একটি ফস্‌ফেট মুক্ত হইয়া অ্যাডিনোসিন ডাইফস্‌ফেট (ADP) এবং অ্যাডিনোসিন ডাইফস্‌ফেটের একটি ফস্‌ফেট মুক্ত হইয়া অ্যাডিনোসিন মনোফস্‌ফেট (AMP) প্রস্তুত হয় (চিত্র-9 তৃতীয় অধ্যায়ে)। প্রতিটি বিক্রিয়ায় শক্তি নির্গত হয়।

জীবকোষে অধিকাংশ বিক্রিয়াগুলি প্রশমিত pH-এ (pH 7) সংঘটিত হয় এবং pH 7-এ ATP আয়ণিত অবস্থায় বর্তমান থাকে। আয়ণিত ATP-র ঋণাত্মক (−) আধানগুলি তাহার রেখাকার পলিফস্‌ফেট শৃঙ্খলের চতুর্দিকে প্রবল বিকর্ষিত (repulsive) অবস্থায় থাকে। প্রশমিক pH-এ ATP অণুর প্রান্তীয় ফস্‌ফেটের আর্দ্রবিশ্লেষণে -8000 ক্যালরি/মোল মুক্ত শক্তি নির্গত হয়।

একই কারণে ADP অণুর আর্দ্রবিশ্লেষণে ও AMP প্রস্তুতিতে -6500 ক্যালরি/মোল এবং AMP হইতে অ্যাডিনোসিন ও ফস্‌ফেট প্রস্তুতিতে -2200 ক্যালরি/মোল মুক্ত শক্তি নির্গত হয়। লিপম্যান (Lipmann) প্রভৃতি প্রাণ-রসায়ণবিদ্ উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ফস্‌ফেট গঠনকে $\sim$P সংকেত চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত করেন। উপরোক্ত সংকেত চিহ্নে উচ্চ শক্তি একটি রাসায়নিক বন্ধনে আবদ্ধ বলিয়া ভ্রম হয়। প্রকৃতপক্ষে, মুক্ত শক্তির এই পরিবর্তন আর্দ্রবিশ্লেষিত গঠন এবং আর্দ্রবিশ্লেষণের উৎপাদিত ফলের উপর নির্ভর করে।

ফস্‌ফেট-অক্সিজেন (P=O) বন্ধনী ব্যতীত কার্বন-অক্সিজেন (C=O) বন্ধনীতেও অনুরূপ সমাবর্তন (polarization) ঘটে, ফলে অ্যাসিটিল ফস্‌ফেট আর্দ্রবিশ্লেষণে মুক্ত শক্তির পরিমাণ -10,000 ক্যালরি/মোল।

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\underset{\underset{O^-}{|}}{\overset{\overset{O}{\|}}{P}}-O^- + H_2O \rightarrow CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + HO-\underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{O}{\|}}{P}}-OH$$

$\triangle F = -10{,}000$ ক্যালরি/মোল (pH 7·0)

থায়োএস্টার (thioester) জাতীয় যৌগের আর্দ্র বিশ্লেষণেও অধিক মুক্ত শক্তি নির্গত হয়। এক্ষেত্রে উৎপাদিত বস্তুর আয়নীত অবস্থার ফলে মুক্ত শক্তি নির্গত হয়। উদাহরণস্বরূপ, অ্যাসিটিল কোএনজাইম-A (acetyl Co-A) আর্দ্র বিশ্লেষণে -8000 ক্যালরি মোল শক্তি নির্গত হয়।

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-S-CoA + H_2O \rightarrow CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O^- + CoA-SH + H^+$$

$\triangle F = -8000$ ক্যালরি/মোল (pH 7·0)

ইনোল ফস্‌ফেটের (enol phosphate) সমাকৃতিকরণ আর্দ্র বিশ্লেষণে -12,800 ক্যালরি/মোল উৎপন্ন হয়। এক্ষেত্রে পাইরুভিক অ্যাসিডের

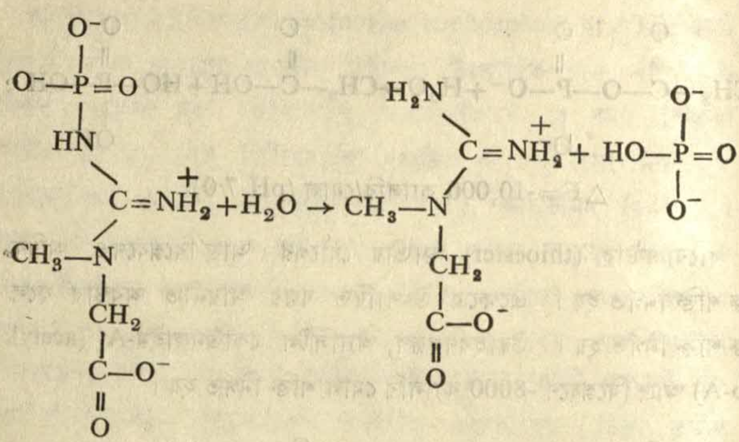
$$\underset{\underset{CH_2}{|}}{\overset{\overset{COO^-}{|}}{C}}=O-\underset{\underset{O^-}{|}}{\overset{\overset{O}{\|}}{P}}-O^- + H_2O \longrightarrow \underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{\overset{COO^-}{|}}{C}}=O + HO-\underset{\underset{O^-}{|}}{\overset{\overset{O}{\|}}{P}}-O^-$$

ফস্‌ফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড (PEP)   পাইরুভিক অ্যাসিড

$\triangle F = -12{,}800$ ক্যালরি/মোল (pH 7·0)

অস্থায়ী ইনোল গঠনটি PEP নামক ফস্‌ফেট এস্টারের গঠনের মধ্যে স্থায়ী অবস্থায় থাকে। আর্দ্র বিশ্লেষণে ইহা স্থায়ী অক্সো (-কিটো) গঠনে রূপান্তরিত হয় [ইহাকে টটোমারকরণ (tautormerization) বলা হয়]।

ক্রেয়াটিন ফস্‌ফেট (creatine phosphate) নামক গুয়ানিডিনিয়াম ফস্‌ফেট (guanidinium phosphate) কোনরূপ তাড়িত-স্থৈতিক বিকর্ষণ শক্তি (electro-static repulsive force) বা আয়নীকরণ বা টটোমারকরণ ব্যতীত আর্দ্র বিশ্লেষণে অধিক মুক্ত শক্তি নির্গত হয়।



ক্রেয়াটিন ফস্‌ফেট ক্রেয়াটিন

$\triangle F$=-10,500 ক্যালরি/মোল (pH 7·0)

উপরোক্ত অনুচ্ছেদে পাইরোফস্‌ফেট, থায়োএস্টার, অ্যাসাইল, ইনোল এবং গুয়ানিডিনিয়াম ফস্‌ফেট প্রভৃতি পাঁচটি শক্তি সম্পন্ন যৌগের কথা উল্লেখ করা হইয়াছে। এই সমস্ত শক্তি সমন্বিত যৌগের মধ্যে গ্লুকোজ 6-ফস্‌ফেট, ফ্রাক্টোজ-6-ফস্‌ফেট প্রভৃতি ফস্‌ফেট এস্টার, পেপটাইড শৃঙ্খলিত যৌগ অথবা অ্যাডিনোসিন মনোফস্‌ফেট প্রভৃতি যৌগের আর্দ্র বিশ্লেষণে -2000 হইতে -3000 ক্যালরি/মোল শক্তি নির্গত হওয়ায় ইহাদের "স্বল্পশক্তি সমন্বিত" (energy poor) যৌগ বলা হয়। গ্লুকোজ-1-ফস্‌ফেট আর্দ্র বিশ্লেষণে -5000 ক্যালরি/মোল শক্তি নির্গত হয় বলিয়া ইহাদের অন্তবর্তী শক্তিসম্পন্ন যৌগ বলা হয়। উপরোক্ত শক্তিসম্পন্ন যৌগ ব্যতীত জীবকোষে একাধিক রাসায়নিক যৌগ শক্তিসম্পন্ন যৌগরূপে ব্যবহৃত হয়।

শক্তিসম্পন্ন যৌগগুলির জৈবিক ভূমিকা পরবর্তী অধ্যায়গুলিতে বর্ণিত হইয়াছে।

বিভাগ III

পঞ্চম অধ্যায়

শ্বসন ও শক্তি

(Respiration and Energy)

জীবের জীবণ ধারণের জন্য প্রয়োজন শক্তি। এই শক্তির প্রধান উৎস হইল সূর্যালোক। সালোকসংশ্লেষের সময় উদ্ভিদ সৌর শক্তিকে রাসায়নিক শক্তি রূপে বিজারিত জৈব পদার্থে সঞ্চিত করিয়া রাখে। শ্বসনের সময় জীবদেহে এই শক্তির কিয়দাংশ তাপরূপে নির্গত হয় এবং অবশিষ্ট শক্তি রাসায়নিক যৌগে সহজ লভ্য অবস্থায় যুক্ত করিয়া রাখে।

শ্বসন একটি অপচিতি মূলক প্রক্রিয়া। শ্বসন-উদ্ভূত সমস্ত শক্তি জীব তাহাদের বিভিন্ন জৈবিক বস্তুর সংশ্লেষ ইত্যাদি জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি রূপে ব্যবহার করে।

যে জৈবিক প্রক্রিয়ায় জীব কোষের জৈব যৌগগুলি জারিত হইয়া স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয় তাহাকে শ্বসন (respiration) **বলে।**

শ্বসন প্রক্রিয়ায় শর্করা (sugars) জাতীয় কার্বোহাইড্রেট প্রধান জারকীয় (oxidisable) উপাদান রূপে ব্যবহৃত হইলেও, শ্বসনে অন্যান্য জৈব পদার্থও জারিত হইতে পারে। এই সমস্ত জৈব বস্তুর জারণ অক্সিজেনের উপস্থিতি ও অনুপস্থিতিতে সম্পন্ন হয়। কার্বন ডাই অক্সাইড ও জল উৎপাদিত পদার্থ রূপে নির্গত হয়। আবার জৈব পদার্থের অসম্পূর্ণ জারণের ফলে অ্যালকোহল বা বিভিন্ন জৈবিক অ্যাসিড ও কার্বন ডাই অক্সাইড উৎপন্ন হইতে পারে।

শ্বসনকে কেবলমাত্র CO_2 ও O_2 গ্যাসের বিনিময় রূপে বর্ণনা করা সমীচিন নহে। শ্বসন এমন একটি প্রক্রিয়া যাহার ফলে উদ্ভূত হয় শক্তি। এই শক্তি ATP নামক একটি রাসায়নিক যৌগে সঞ্চিত রাখে। জীবকোষে

এই শক্তি সম্পন্ন ATP মাইটোকনড্রিয়া নামক কোষস্থ বস্তুতে প্রস্তুত হয়। শ্বসনের এক গ্রাম অণু গ্লুকোজ জারণের সংক্ষিপ্ত সমীকরণটি নিম্নরূপ।

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673 \text{ কিলো ক্যালরি}$$

সুতরাং এক গ্রাম-অণু (অর্থাৎ 180 গ্রাম) গ্লুকোজ সম্পূর্ণরূপে জারিত হইলে 673 কিলো ক্যালরি শক্তি অর্থাৎ 1 গ্রাম গ্লুকোজ 3·73 কিলো ক্যালরি শক্তি উৎপন্ন হয়। প্রতি গ্রাম প্রোটীন ও চর্বি সম্পূর্ণ জারিত হইয়া যথাক্রমে 5·7 কিলো ক্যালরি ও 9·1 কিলো ক্যালরি শক্তি উৎপন্ন করে।

গ্লুকোজের জারণ অক্সিজেনের উপস্থিতি ও অনুপস্থিতিতে সম্পাদিত হয় বলিয়া শ্বসন প্রক্রিয়াকে দুইটি ভাগে ভাগ করা যায়, যেমন **সবাত শ্বসন** (aerobic respiration) এবং **অবাত শ্বসন** (anaerobic respiration)। সবাত শ্বসনের উৎপাদিত পদার্থ রূপে নির্গত হয় কার্বন ডাই অক্সাইড ও জল। ঈষ্ট (yeast) নামক নিম্ন শ্রেণীর উদ্ভিদে অবাত শ্বসনে নির্গত হয় অ্যালকোহল ও কার্বন ডাই অক্সাইড।

সবাত শ্বসনের সমীকরণ,

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673 \text{ কিলো ক্যালরি}$$

অবাত শ্বসনের সমীকরণ (ঈষ্ট)

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 27 \text{ কিলো ক্যালরি}$$

শ্বাসহার (Respiratory Quotient বা RQ)ঃ উপরোক্ত সমীকরণ হইতে ইহা নিশ্চিত যে, সবাত শ্বসনের ফলে জীবকোষ ও বায়ুমণ্ডলের মধ্যে CO_2 ও O_2 গ্যাসের আদান প্রদান হয়। অবাত শ্বসনকালে অবশ্য কোন O_2-এর প্রয়োজন হয় না। উপরোক্ত দুইটি প্রক্রিয়ায় CO_2 নির্গমনের পরিমাণও বিভিন্ন। শ্বসনের সময় O_2 গ্যাস গ্রহণ এবং CO_2 গ্যাসের নির্গমনের পরিমাণ হইতে শ্বসনের হার নির্ণয় করা যায়। শ্বসনের সময় গ্লুকোজ ব্যতীত বিভিন্ন প্রকার জৈব যৌগ জারিত হওয়ায় O_2 ও CO_2 গ্যাসের পরিমাণও বিভিন্ন হয়। জারকীয় জৈব পদার্থের কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন মৌলের পরিমাণের উপর O_2 গ্রহণ ও CO_2 নির্গমনের পরিমাণ নির্ভরশীল। সুতরাং O_2 ও CO_2-এর পরিমাণের উপর জারকীয় পদার্থগুলির প্রকৃতি নির্ণয় করা যায়।

শ্বসনের সময় CO_2 গ্যাসের নির্গমন এবং O_2 গ্যাস গ্রহণের অনুপাতকে শ্বাসহার (Respiratory Quotient **বা RQ) বলা হয়।**

সবাত শ্বসনে **গ্লুকোজের সম্পূর্ণ জারণ** ক্রিয়ায় 6 অণু O_2-এর প্রয়োজন হয় এবং ফলে 6 অণু CO_2 নির্গত হয়।

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{শক্তি}$$

সুতরাং এক্ষেত্রে কার্বোহাইড্রেটের শ্বাসহার **(RQ)** $\frac{6}{6}$ বা 1। শ্বসনে কার্বোহাইড্রেট ব্যতীত প্রোটীন, চর্বি ও জৈব অ্যাসিড জারকীয় পদার্থরূপে ব্যবহৃত হইলে তাহাদের শ্বাসহার বিভিন্ন হয়।

চর্বি জাতীয় যৌগে অক্সিজেনের পরিমাণ কার্বন ও হাইড্রোজেন অপেক্ষা কম হওয়ায় ইহাদের জারণের সময় অতিরিক্ত অক্সিজেনের প্রয়োজন হয়। ওলিক অ্যাসিড নামক একটি সাধারণ ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণ নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্য বুঝানো যায়।

$$C_{18}H_{34}O_2 + 25{\cdot}5O_2 \longrightarrow 18CO_2 + 17H_2O + \text{শক্তি}$$

(ওলিক অ্যাসিড)

সুতরাং এক্ষেত্রে ফ্যাটি অ্যাসিডের শ্বাসহার (RQ) 18/25·5 বা 0·71

চর্বি জাতীয় পদার্থের ন্যায় **প্রোটীনেও** অক্সিজেনের পরিমাণ কার্বন অপেক্ষা কম হইলেও হাইড্রোজেন বেশী থাকায় এক্ষেত্রে শ্বাসহার এক অথবা একের বেশী হইয়া থাকে। অ্যালানিন ও অ্যাসপারটিক অ্যাসিড নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডের শ্বাসহার নিম্নোক্ত সমীকরণের সাহায্যে নির্ণীত হয়।

$$\begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ CHNH_2 + 3O_2 \longrightarrow 3CO_2 + NH_3 + 2H_2O \\ | \\ COOH \end{array}$$

(অ্যালানিন)

এক্ষেত্রে শ্বাসহার $\frac{3}{3}$ বা 1

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ CHNH_2 + 3O_2 \longrightarrow 4CO_2 + NH_3 + 2H_2O \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COOH \end{array}$$

(অ্যাসপারটিক অ্যাসিড)

এক্ষেত্রে শ্বাসহার $\frac{4}{3}$ বা 1·33

জৈব অ্যাসিডে অক্সিজেনের পরিমাণ কার্বন অপেক্ষা বেশী, তাই এদের জারণ ক্রিয়ার সময় স্বল্প অক্সিজেনের প্রয়োজন হয়। ফলে এদের শ্বাসহার সাধারণতঃ একের বেশী। বিভিন্ন প্রকার জৈব অ্যাসিডের শ্বাসহার নিম্নে দেওয়া হইল।

$$C_4H_6O_5 + 3O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 3H_2O + \text{শক্তি}$$

(ম্যালিক অ্যাসিড)

শ্বাসহার (RQ) $\frac{4}{3}$ বা 1·33

$$2\,C_4H_6O_6 + 5O_2 \longrightarrow 8\,CO_2 + 6H_2O + \text{শক্তি}$$

(টারটারিক অ্যাসিড)

শ্বাসহার (RQ) $\frac{8}{5}$ বা 1·6

$$2C_2H_2O_4 + O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 2H_2O + \text{শক্তি}$$

শ্বাসহার (RQ) $\frac{4}{1}$ বা 4

অনেক ক্ষেত্রে গ্লুকোজ সম্পূর্ণ জারিত না হইয়া **অসম্পূর্ণ ভাবে জারিত হইলে** ম্যালিক অ্যাসিড প্রভৃতি জৈব অ্যাসিডের উদ্ভব হয়। গ্লুকোজের অসম্পূর্ণ জারণ নিম্নলিখিত সমীকরণে সম্পন্ন হয়।

$$2C_6H_{T2}O_6 + 3O_2 \longrightarrow 3C_4H_6O_5 + 2H_2O + \text{শক্তি}$$

এক্ষেত্রে শ্বাসহার $\frac{0}{3}$ বা 0

অবাত শ্বসনকালেও গ্লুকোজের অসম্পূর্ণ জারণ হয়। এক্ষেত্রে অক্সিজেন ব্যতীত কার্বন ডাই অক্সাইড ত্যাগ করিয়া থাকে। সুতরাং অবাত শ্বসনের শ্বাসহার অসীম (infinity)।

$$C_6H_{T2}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{শক্তি}$$

শ্বাসহার $\frac{2}{0}$ বা ∞ (অসীম)

বীজের অঙ্কুরোদ্গমনের সময় বীজে সঞ্চিত খাদ্যবস্তুর উপর নির্ভর করিয়া ইহাদের শ্বাসহার বিভিন্ন প্রকার হয়। বীজে বিভিন্ন প্রকার খাদ্যবস্তু সঞ্চিত থাকায় শ্বসনের সময় এদের শ্বাসহার বিভিন্ন জৈব পদার্থের গড় হিসাবে গণ্য করা হয়। অঙ্কুরিত ধান বীজে সঞ্চিত খাদ্যবস্তুরূপে শ্বেতসার অধিক পরিমাণে থাকায় এদের শ্বাসহার 1·0। সরিষা বীজে সঞ্চিত খাদ্য চর্বি থাকায় শ্বসনকালে এদের শ্বাসহার একের কম (অর্থাৎ 0·77—0·83) হয়। প্রোটীন জাতীয় বীজের ক্ষেত্রে শ্বাসহার ক্ষেত্র বিশেষে একের কম হইয়া থাকে।

জীবকোষে শ্বাসহারের বিশেষ গুরুত্ব পরিলক্ষিত হয়। শ্বাসহার দ্বারা জারকীয় পদার্থগুলির প্রকৃতির ইঙ্গিত পাওয়া যায়। সাধারণভাবে শ্বাসহার জারকীয় পদার্থের কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের পরিমাণের উপর নির্ভর করে এবং প্রকৃতপক্ষে শ্বাসহার একটি গড় অনুপাত।

শ্বসন পদ্ধতি (Mechanism of Respiration)

শ্বসনের সময় গ্লুকোজ উদ্ভিদদেহে বিভিন্ন উৎসেচকের প্রভাবে নানাবিধ জৈব পদার্থের মাধ্যমে জারিত হয়। এই জারণের ফলে উদ্ভূত হয় গতি শক্তির। গ্লুকোজের জারণ প্রক্রিয়াকে চারিটি পর্যায়ে বিভক্তঃ

(ক) **গ্লাইকোলাইসিস্** (Glycolysis): গ্লুকোজ জারিত হইয়া পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

(খ) **পাইরুভিক অ্যাসিডের জারকীয় কার্বক্সিল হরণ** (Oxidative decarboxylation of pyruvic acid): 3-কার্বনযুক্ত পাইরুভিক অ্যাসিডের জারণের ফলে 2-কার্বনযুক্ত অ্যাসিটিল-কো-A প্রস্তুত হয়, এবং এক অণু কার্বন ডাই অক্সাইড উৎপাদিত পদার্থরূপে নির্গত হয়।

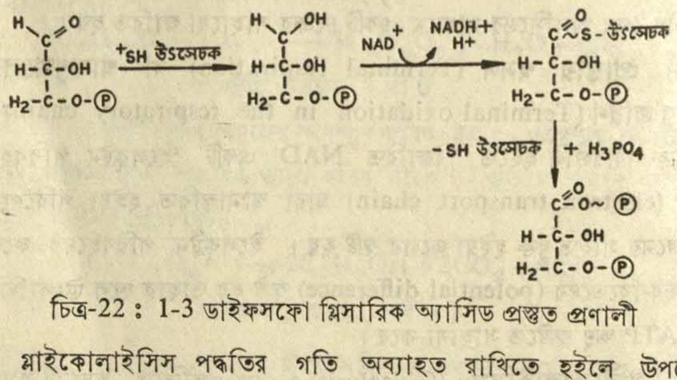
(গ) **ক্রেব্‌স চক্র** (Krebs cycle): 2-কার্বনযুক্ত অ্যাসিটিল কো-A নানাবিধ জৈব অ্যাসিডের মাধ্যমে একটি চক্রের সাহায্যে জারিত হয়।

(ঘ) **প্রান্তীয় শ্বসন** (Terminal respiration) বা **শ্বাসশৃঙ্খলের প্রান্তীয় জারণ** (Terminal oxidation in the respiratory chain): উপরোক্ত পর্যায়গুলি হইতে বিজারিত NAD একটি 'ইলেক্ট্রন পরিবহণ প্রবাহ' (electron transport chain) দ্বারা স্থানান্তরিত হইয়া পরিশেষে অক্সিজেনের সহিত যুক্ত হইয়া জলের সৃষ্টি হয়। ইলেকট্রন পরিবহণের ফলে যে বিভব-বিভেদের (potential difference) সৃষ্টি হয় তাহার ফলে উৎপাদিত শক্তি, ATP অণু সৃষ্টিতে সাহায্য করে।

ক. **গ্লাইকোলাইসিস্*** (Glycolysis): যে পদ্ধতিতে শ্বসনের সময় হেক্সোজ বিভিন্নপ্রকার উৎসেচকের প্রভাবে পাইরুভিক অ্যাসিড নামক সরল জৈব অ্যাসিড উৎপন্ন করে তাহাকে **গ্লাইকোলাইসিস্** বলে। এই পর্যায়টি কোষস্থ সাইটোপ্লাসমে সাধিত হয়। এই অপচিতিকর প্রক্রিয়া অক্সিজেনের উপস্থিতি বা অনুপস্থিতিতে সম্পন্ন হয়। গ্লুকোজ বা ফ্রাক্টোজ ATP অণু দ্বারা

* গ্লাইকোলাইসিসকে Embdem-Meyerhof-Parnas Pathway বা EMP Pathway বলা হয়।

ফসফরাস-যুক্ত হইয়া গ্লুকোজ-6-ফস্ফেট বা ফ্রাক্টোজ-6-ফস্ফেট প্রস্তুত করে। ফ্রাক্টোজ-6-ফস্ফেট অপর একটি ATP অণুর সাহায্যে ফ্রাক্টোজ-1-6-ডাই-ফস্ফেট প্রস্তুত করে। ফ্রাক্টোজ-1-6 ডাইফস্ফেট অ্যালডোলেজ উৎসেচকের সাহায্যে তৃতীয় ও চতুর্থ কার্বনের মধ্যে দ্বিখণ্ডিত হইয়া সমান দুইভাগে বিভক্ত হইয়া দুইটি ট্রায়োজ যৌগ প্রস্তুত করে। এই ট্রায়োজ ফস্ফেটের একটি 3-ফস্ফোগ্লিসার্যালডিহাইড ও অপরটি ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফস্ফেট। 3-ফস্ফোগ্লিসার্যালডিহাইড অতঃপর ট্রায়োজ ফস্ফেট ডিহাইড্রোজিনেজ নামক একটি সালফাহাইড্রিল (SH) উৎসেচকের সাহায্যে বিক্রিয়া ঘটাইয়া 1-3 ডাই-ফস্ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড প্রস্তুত করে। উক্ত উৎসেচকটি প্রথমে 3-ফসফো-গ্লিসার্যালডিহাইডের কার্বনাইল বর্গের সহিত যুক্ত হয় এবং পরে NAD (বা NADP) হাইড্রোজেন দুইটি গ্রহণ করিয়া শক্তিসম্পন্ন থায়োল এস্টার বন্ধনের (thiol ester bond) সৃষ্টি করে। এর পরবর্তী পর্যায়ে অজৈব ফস্ফেটের (H_3PO_4) সাহায্যে উৎসেচকটি মুক্ত হয় এবং 1-3 ডাইফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডের প্রথম কার্বন স্থানে "উচ্চ শক্তিসম্পন্ন" ফস্ফেট যুক্ত হয় (চিত্র-22)।



চিত্র-22 : 1-3 ডাইফসফো গ্লিসারিক অ্যাসিড প্রস্তুত প্রণালী

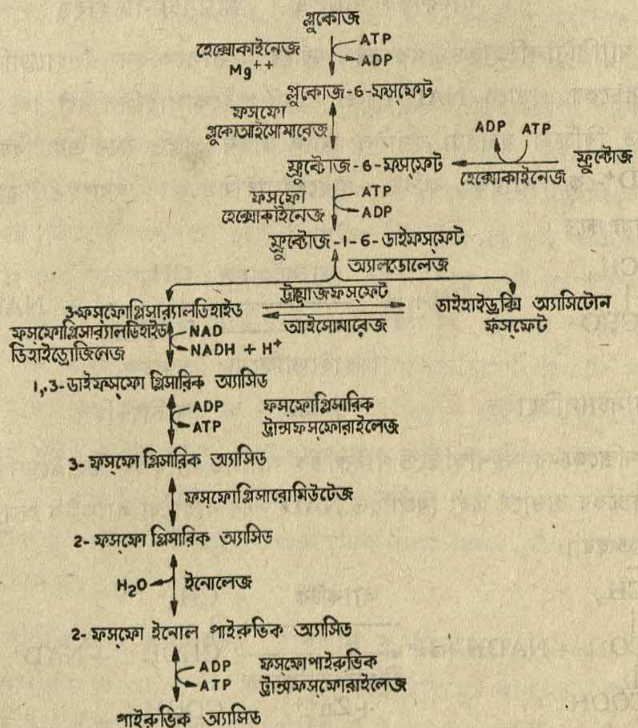
গ্লাইকোলাইসিস পদ্ধতির গতি অব্যাহত রাখিতে হইলে উপরোক্ত বিজারিত NAD+ অণুকে পুনরায় জারিত করিয়া NAD+ অনুতে পরিণত করা অত্যাবশ্যক।

1-3 ডাইফস্ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড অনুর প্রথম কার্বনের সহিত যুক্ত উচ্চ শক্তি সম্পন্ন ফস্ফেটটি ফস্ফোগ্লিসারোকাইনেজ উৎসেচকের প্রভাবে ADP অনুতে স্থানান্তরিত হইয়া ATP এবং 3-ফস্ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

ফস্ফোগ্লিসারোমিউটেজ উৎসেচকের ক্রিয়ার ফলে 3-ফস্ফোগ্লিসারিক

অ্যাসিডের ফসফেটটি কার্বনের তৃতীয় স্থান হইতে দ্বিতীয় স্থানে স্থানান্তরিত হইয়া 2-ফস্ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড হয় এবং অতঃপর ইনোলেজ উৎসেচকের প্রভাবে এক অনু জল ত্যাগ করিয়া 2-ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিডে রূপান্তরিত হয়। 2-ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিডের দ্বিতীয় কার্বনের সহিত যুক্ত উচ্চ শক্তি সম্পন্ন ফসফেটটি পাইরুভেট কাইনেজ উৎসেচক দ্বারা ADP অণুতে স্থানান্তরিত হইয়া ATP এবং পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। গ্লাইকোলাইসিসের পর্যায়ক্রমিক প্রতিক্রিয়া নিম্নের চিত্রে (চিত্র-22) দেখানো হইল।

কোষে অক্সিজেন অনুপস্থিত থাকিলে পাইরুভিক অ্যাসিড ল্যাকটিক অ্যাসিড অথবা ইথাইল অ্যালকোহল এবং কার্বন ডাই অক্সাইডে পরিণত হয়।



চিত্র-22 : গ্লাইকোলাইসিসের পর্যায়ক্রমিক প্রতিক্রিয়া

গ্লাইকোলাইসিস পর্যায়ে ট্রায়োজ ফসফেট ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের

প্রভাবে যে বিজারিত NAD^+ প্রস্তুত হয় তাহা পুনরায় জারিত হইয়া NAD^+ উৎপন্ন করা প্রয়োজন (গ্লাইকোলাইসিস পদ্ধতিটি অব্যাহত রাখিতে হইলে)। কোষে অক্সিজেন উপস্থিত থাকিলে সেই অক্সিজেনই এই জারণ ক্রিয়া সম্পন্ন করিতে পারে ; কিন্তু অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে এই প্রক্রিয়াটি দুইটি পর্যায়ে সাধিত হয়। প্রথম পর্যায়ে পাইরুভিক কার্বক্সাইলেজ উৎসেচকের প্রভাবে অ্যাসিট্যালডিহাইড ও কার্বন ডাই অক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CO \\ | \\ COOH \end{matrix} \quad \underset{\text{কার্বক্সাইলেজ}}{\overset{\text{পাইরুভিক}}{\rightleftharpoons}} \quad \begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CHO \end{matrix} + CO_2$$

পাইরুভিক অ্যাসিড অ্যাসিট্যালডিহাইড

অ্যাসিট্যালডিহাইড পরবর্তী পর্যায়ে অ্যালকোহল ডিহাড্রোজিনেজ উৎসেচকের প্রভাবে $NADH + H^+$-এর (গ্লাইকোলাইসিস পর্যায়ে উৎপন্ন) সহিত বিক্রিয়া ঘটাইয়া ইথাইল অ্যালকোহল প্রস্তুত করে এবং বিজারিত NAD^+-কে জারিত করিয়া গ্লাইকোলাইসিসকে অব্যাহত রাখিতে সাহায্য করে।

$$\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CHO \end{matrix} + NADH + H^+ \underset{\text{ডিহাইড্রোজিনেজ}}{\overset{\text{অ্যালকোহল}}{\rightleftharpoons}} \begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CH_2OH \end{matrix} + NAD^+$$

অ্যাসিট্যালডিহাইড $+Zn^{++}$ ইথাইল অ্যালকোহল

অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে পাইরুভিক অ্যাসিড ল্যাকটিক ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের প্রভাবে এবং বিজারিত NAD^+-এর সাহায্যে ল্যাকটিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CO \\ | \\ COOH \end{matrix} + NADH + H^+ \underset{\substack{\text{ডিহাইড্রোজিনেজ} \\ +Zn^{++}}}{\overset{\text{ল্যাকটিক}}{\rightleftharpoons}} \begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CHOH \\ | \\ COOH \end{matrix} + NAD^+$$

পাইরুভিক অ্যাসিড ল্যাকটিক অ্যাসিড

গ্লাইকোলাইসিস পদ্ধতির ফলে কার্বোহাইড্রেটের প্রত্যেক 6-কার্বন বিশিষ্ট অংশ হইতে 2 অণু ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড এবং উহার প্রতিটি অণু হইতে

একটি পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। সুতরাং প্রতি অণু গ্লুকোজ বা ফ্রাক্টোজ হইতে 2 অণু পাইরুভিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

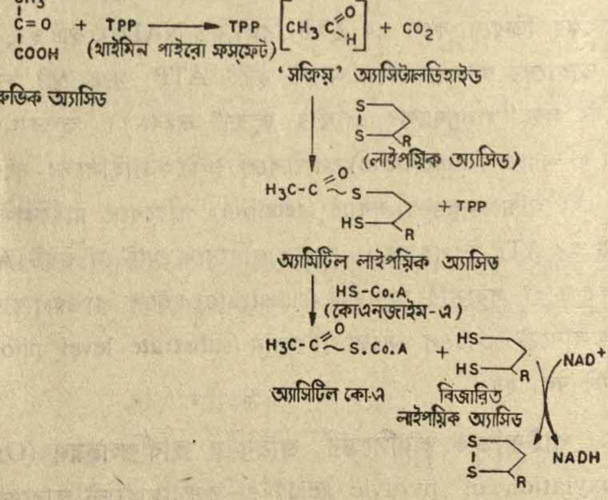
অক্সিজেনবিহীন পরিবেশে গ্লাইকোলাইসিস চলিতে থাকিলে প্রত্যেক গ্লুকোজ বা ফ্রাক্টোজ হইতে উৎপন্ন 2 অণু 1-3 ডাইফস্‌ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড হইতে 2 অণু 3-ফস্‌ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড উৎপাদনের সময় 2 অণু শক্তি সম্পন্ন ATP-র সৃষ্টি হয়। আবার 2 অণু 2-ফস্‌ফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড হইতে 2 অণু পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপাদনের সময় আরও 2 অণু ATP পাওয়া যায়। সুতরাং গ্লাইকোলাইসিসের এক অণু কার্বোহাইড্রেট (হেক্সোজ) বিপাকের ফলে চারিটি ATP অণুর সৃষ্টি হয়। অন্যদিকে গ্লাইকোলাইসিসের প্রথম ধাপে গ্লুকোজ বা ফ্রাক্টোজ হইতে গ্লুকোজ 6-ফসফেট বা ফ্রাক্টোজ-6 ফসফেট এবং ফ্রাক্টোজ 6-ফসফেট হইতে ফ্রাক্টোজ 1-6 ডাইফসফেট উৎপাদনের সময় দুই অণু ATP ব্যবহৃত হয়। সুতরাং অক্সিজেনবিহীন পরিবেশে কার্বোহাইড্রেট বিপাকে মোট দুইটি ATP অণু লাভ হয়। অপরপক্ষে, অক্সিজেনযুক্ত পরিবেশে গ্লাইকোলাইসিস চলিতে থাকিলে ট্রায়োজ ফসফেট ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের ক্রিয়ার ফলে যে দুইটি বিজারিত NAD^{+}র সৃষ্টি হয়, অক্সিজেন যোগে তাহাদের জারণের ফলে আরও ছয়টি ATP অণুর সৃষ্টি হয় (বিশদ বিবরণের জন্য "শ্বাসশৃঙ্খলের প্রান্তীয় জারণ" দ্রষ্টব্য)। সুতরাং অক্সিজেন বিহীন বা অবাত (anaerobic) পরিবেশে গ্লাইকোলাইসিসের ফলে 2 অণু ATP এবং অক্সিজেনযুক্ত বা সবাত (aerobic) পরিবেশে গ্লাইকোলাইসিসের ফলে 8 অণু ATP উৎপন্ন হয়। অবাত পরিবেশে মোট যে দুইটি ATP অণু লাভ হয় তাহা সরাসরি সাবস্ট্রেট (substrate) হইতে পাওয়া যায় বলিয়া ইহাকে সাবস্ট্রেট লেভেল ফসফোরাইলেশন (substrate level phosphorylation) বলা হয়।

খ. **পাইরুভিক অ্যাসিডের জারকীয় কার্বক্সিলহরণ** (Oxidative carboxylation of pyruvic acid) : কার্বোহাইড্রেট জারণের দ্বিতীয় পর্যায়টিতে 3-কার্বনযুক্ত পাইরুভিক অ্যাসিড 2-কার্বনযুক্ত অ্যাসিটিল কো-A উৎপন্ন করিয়া কার্বন ডাই অক্সাইড মুক্ত করে। এই পর্যায়ের বিক্রিয়াগুলি জটিল বহুউৎসেচকের (multienzyme complex) সাহায্যে জারিত হয় এবং প্রতিটি পর্যায় কতকগুলি সহ-উৎসেচকের উপর ন্যস্ত। এই সহ-উৎসেচকগুলিঃ

থায়ামিন পাইরোফস্‌ফেট (thiamine pyrophosphate বা TPP), লিপোয়িক অ্যাসিড (lipoic acid) এবং কোএনজাইম-A (coenzyme-A) এবং NAD^+।

এই পর্যায়ের বিক্রিয়াগুলি 1951 খৃষ্টাব্দে লাইনেন (Lynen) পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন। এই জারণ পদ্ধতির প্রথম পর্যায়ে থায়ামিন পাইরোফস্‌ফেট পাইরুভিক অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গ হইতে কার্বন ডাই অক্সাইড মুক্ত করে। এই বিক্রিয়ার ফলে অ্যাসিট্যালডিহাইড প্রস্তুত হয়। TPP এই অ্যাসিট্যালডিহাইডের সহিত যুক্ত থাকে বলিয়া ইহাকে "সক্রিয় অ্যালডিহাইড" (active aldehyde) বলা হয়।

'সক্রিয় অ্যালডিহাইড' পরবর্তী পর্যায়ে লিপোয়িক অ্যাসিডের সহিত বিক্রিয়া ঘটায়। এই বিক্রিয়ার ফলে লিপোয়িক অ্যাসিডের দুইটি সালফাইডের (S-S) একটি বিজারিত হইয়া অ্যাসিটিল লিপোয়িক অ্যাসিড প্রস্তুত করে এবং ফলে TPP মুক্ত হয় (চিত্র-23)।



চিত্র-23 : পাইরুভিক অ্যাসিডের জারণ ক্রিয়ায় অ্যাসিটিল কো A-র-উৎপাদন

এই পর্যায়ের সর্বশেষ স্তরে অ্যাসিটিল লিপোয়িক অ্যাসিড কোএনজাইম-A সহিত বিক্রিয়া করিয়া লিপোয়িক অ্যাসিডকে সম্পূর্ণরূপে বিজারিত করে এবং

অ্যাসিটিল কো-A প্রস্তুত করে। অ্যাসিটিল কো-A "সক্রিয় অ্যাসিটেট" (active acetate) নামেও পরিচিত।

এই পর্যায়টি অব্যাহিত রাখিতে হইলে উপরোক্ত বিজারিত লিপোয়িক অ্যাসিডকে অবিলম্বে পুনরায় জারিত করা প্রয়োজন। NAD^+ এই জারণ কার্য সমাধা করে। ফলে লিপোয়িক অ্যাসিড পুনরায় জারিত হয় এবং NAD^+ বিজারিত হয়।

অ্যাসিটিল কো-A পরবর্তী পর্যায়ে ক্রেবস্ চক্রে প্রবেশ করে এবং অক্সিজেনের উপস্থিতিতে সম্পূর্ণরূপে জারিত হইয়া জল ও কার্বন ডাই অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

CH_3–CO–COOH (পাইরুভিক অ্যাসিড) $+ NAD^+$ —— পাইরুভিক ডিহাইড্রোজিনেজ বহু উৎসেচক, সহ উৎসেচক {TTP, LSA, HS-Co-A} ——→ CH_3-C(=O)-S-CoA (অ্যাসিটিল কো-A) $+ NADH + H^+ + CO_2$

গ. ক্রেবস্ চক্র (Krebs Cycle) : এই সবাত বিপাক পদ্ধতির মাধ্যমে 2-কার্বন বিশিষ্ট অ্যাসিটিল কো-A সম্পূর্ণরূপে জারিত হইয়া কার্বন ডাই অক্সাইড ও জলে পরিণত হয়। 1937 খৃষ্টাব্দে ইংল্যাণ্ডের প্রাণ-রসায়নবিদ্ হ্যানস্ ক্রেবস (Hans Krebs) একটি চক্রের মাধ্যমে এই জারণ পদ্ধতির বিশদ্ ব্যাখ্যা দেন। ঐ বৈজ্ঞানিকের নামানুসারে এই চক্রকে **ক্রেবস্ চক্র** (Krebs Cycle) বলা হয়। এই চক্রের প্রথম উৎপাদিত যৌগ সিট্রিক অ্যাসিড বলিয়া ক্রেবস্ চক্রকে **সিট্রিক অ্যাসিড চক্র**ও (Citric acid cycle) বলা হয়। সিট্রিক অ্যাসিডে তিনটি কার্বক্সিল বর্গ (—COOH) থাকায় ইহাকে অনেকে **ট্রাই কার্বক্সিলিক অ্যাসিড চক্র** (Tricarboxylic acid cycle বা TCA cycle) বলিয়া থাকেন। ক্রেবস্ চক্রের সম্পূর্ণ বিক্রিয়াগুলি মাইটোকন্ড্রিয়াতে সম্পন্ন হয়।

অ্যাসিটিল কো-A সিট্রেট সিন্থেটেজ নামক উৎসেচকের প্রভাবে অক্সালো-অ্যাসেটিক অ্যাসিড নামক 4-কার্বন বিশিষ্ট একটি জৈব অ্যাসিডের সহিত যুক্ত হইয়া ক্রেবস্ চক্রে প্রবেশ করে (চিত্র-24) এবং সিট্রিক অ্যাসিড নামক একটি জৈব অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{অ্যাসিটিল কো-A}}{CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-S\text{-}Co\text{-}A} + \underset{\text{অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড}}{COOH-CH_2-CO-COOH} \xrightarrow[\text{সিট্রেট সিন্থেটেজ}]{+H_2O} \underset{\text{সিট্রিক অ্যাসিড}}{CH_2(COOH)-COH(COOH)-CH_2(COOH)} + Co\text{-}A\text{-}SH$$

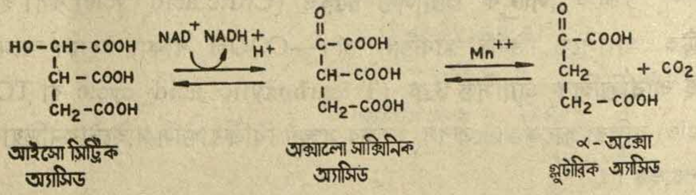
অ্যাসিটিল কো-A অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড সিট্রিক অ্যাসিড

অ্যাকোনাইটেজ উৎসেচকের প্রভাবে সিট্রিক অ্যাসিড অণুতে হাইড্রোজেন ও হাইড্রক্সিল বর্গগুলির অবস্থান পুনর্বিন্যস্ত হইয়া আইসো-সিট্রিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে।

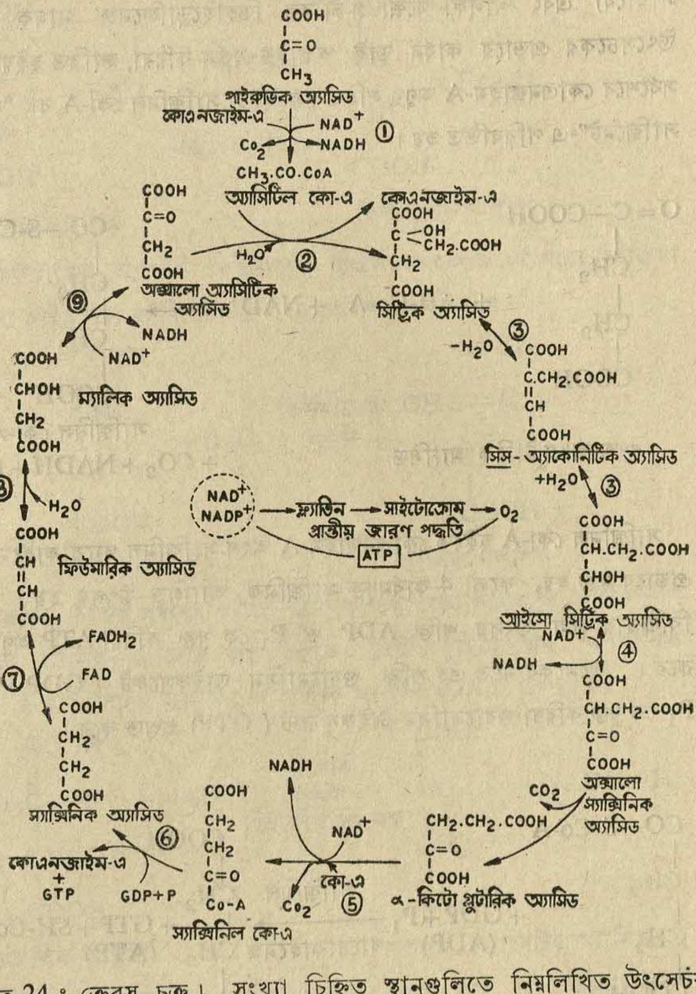
$$\underset{\text{সিট্রিক অ্যাসিড}}{CH_2\text{-}COOH-HOC\text{—}COOH-CH_2\text{-}COOH} \underset{+H_2O}{\overset{-H_2O}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{সিস্-অ্যাকোনাইটিক অ্যাসিড}}{CH\text{-}COOH=C\text{-}COOH-CH_2\text{-}COOH} \underset{-H_2O}{\overset{+H_2O}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{আইসো-সিট্রিক অ্যাসিড}}{HO\text{-}CH\text{-}COOH-CH\text{-}COOH-CH_2\text{-}COOH}$$

সিট্রিক অ্যাসিড সিস্-অ্যাকোনাইটিক অ্যাসিড আইসো-সিট্রিক অ্যাসিড

আইসো-সিট্রিক অ্যাসিড আইসোসিট্রিক ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচক এবং NAD^+-এর প্রভাবে জারিত হইয়া অক্সালো-সাক্সিনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। অতঃপর ঐ একই উৎসেচকের প্রভাবে অক্সালো সাক্সিনিক অ্যাসিড অণুর দ্বিতীয় কার্বক্সিল বর্গটি কার্বন ডাই অক্সাইড আকারে মুক্ত হইয়া 5-কার্বন যুক্ত আল্‌ফা-অক্সো (কিটো) গ্লুটারিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

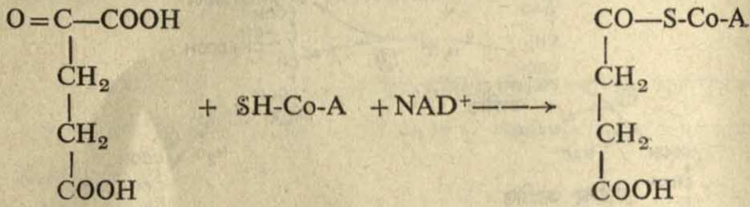


পাইরুভিক অ্যাসিডের জারকীয় কার্বক্সিলহরণের (পূর্বের খ. অংশ দ্রষ্টব্য) ন্যায় আল্‌ফা-অক্সো (কিটো) গ্লুটারিক অ্যাসিডেরও জারকীয় কার্বাক্সিলহরণ ঘটে। আল্‌ফা-অক্সো (কিটো) গ্লুটারিক অ্যাসিড থায়ামিন পাইরোফসফেট, লিপোয়িক অ্যাসিড, কোএনজাইম-A এবং এবং NAD^+ প্রভৃতি সহ-



চিত্র-24 : ক্রেবস্ চক্র। সংখ্যা চিহ্নিত স্থানগুলিতে নিম্নলিখিত উৎসেচক সক্রিয় অংশ গ্রহণ করে। 1. পাইরুভিক ডিহাইড্রোজিনেজ (বহু উৎসেচক সমন্বিত যৌগ); 2. সিট্রেট সিন্থেটেজ (বা ঘনক্রিয়া উৎসেচক); 3. অ্যাকোনাইটেজ ; 4. আইসো সিট্রিক অ্যাসিড ডিহাইড্রোজিনেজ ; 5. α-কিটো (অক্সো) গ্লুটারিক অ্যাসিড ডিহাইড্রোজিনেজ (বহু উৎসেচক সমন্বিত যৌগ); 6. সাক্সিনিক অ্যাসিড থায়োকাইনেজ ; 7. সাক্সিনিক অ্যাসিড ডিহাইড্রোজিনেজ ; 8. ফিউমারেজ ; 9. ম্যালিক অ্যাসিড ডিহাইড্রোজিনেজ।

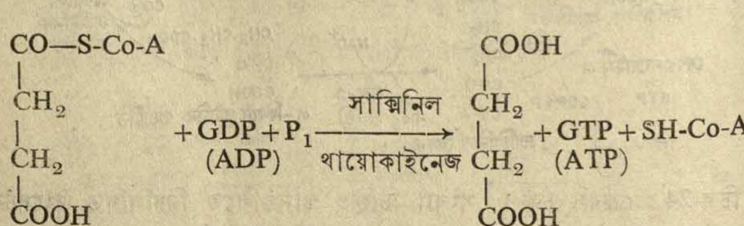
সাহায্যে এবং আল্‌ফা-অক্সো গ্লুটারিক ডিহাইড্রোজিনেজ নামক জটিল উৎসেচকের প্রভাবে কার্বন ডাই অক্সাইড বর্জন করিয়া, জারিত হইয়া এবং সর্বশেষে কোএনজাইম-A অণুর সহিত যুক্ত হইয়া সাক্সিনিল কো-A বা "সক্রিয় সাক্সিনেট"-এ পরিবর্তিত হয়।



সাক্সিনিল কো-A

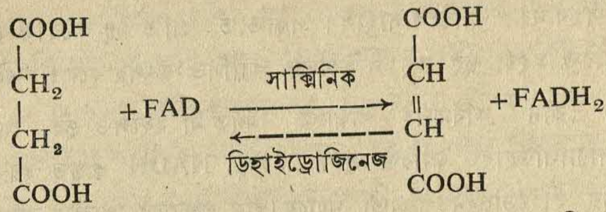
৺-অক্সো-গ্লুটারিক অ্যাসিড $+CO_2+NADH+H^+$

সাক্সিনিল কো-A হইতে কোএনজাইম-A অংশ সাক্সিনিল থায়োকাইনেজের প্রভাবে মুক্ত হয়, ফলে 4-কার্বনযুক্ত সাক্সিনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন শক্তি ADP ও P_1 কে যুক্ত করিয়া ATP অণু সৃষ্টি করে। অনেকের মতে এই শক্তি গুয়ানোসিন ডাইফসফেট (GDP) এবং P_1 কে যুক্ত করিয়া গুয়ানোসিন ট্রাইফস্‌ফেট (GTP) প্রস্তুত করে।



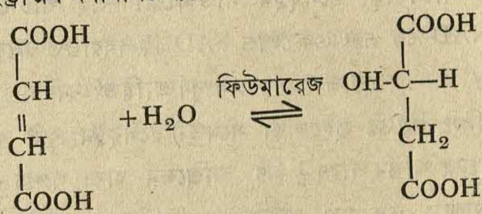
সাক্সিনিল কো-A সাক্সিনিক অ্যাসিড

সাক্সিনিক অ্যাসিড সাক্সিনিক ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের প্রভাবে জারিত হইয়া দুইটি হাইড্রোজেন মুক্ত হয় এবং 4-কার্বনযুক্ত ফিউমারিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এই বিক্রিয়ার ফলে ফ্লাভিন অ্যাডিনিন ডাইনিউক্লিও-টাইড (FAD) নামক ফ্লাভোপ্রোটিনকে বিজারিত করে।



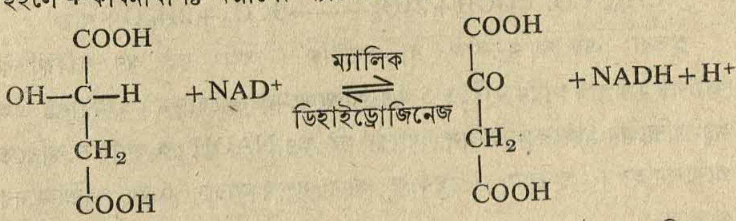
সাক্সিনিক অ্যাসিড ফিউমারিক অ্যাসিড

ফিউমারিক অ্যাসিড ফিউমারেজ উৎসেচক এবং জলের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটাইয়া হাইড্রক্সিল বর্গবিশিষ্ট ম্যালিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।



ফিউমারিক অ্যাসিড ম্যালিক অ্যাসিড

ক্রেবস্ চক্রের সর্বশেষ পর্যায়ে ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ ও NAD^+-এর প্রভাবে ম্যালিক অ্যাসিড অণু হইতে দুইটি হাইড্রোজেন অপসারিত হইলে 4-কার্বনবিশিষ্ট অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড (OAA) উৎপন্ন হয়।



ম্যালিক অ্যাসিড অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড

অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড উৎপন্নের সঙ্গে সঙ্গে উহা আবার একটি নুতন অ্যাসিটিল কো-A অণুর সহিত যুক্ত হইয়া পুনরায় চক্রের সূচনা করে।

গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবস্ চক্রের বিক্রিয়াগুলি সংক্ষেপ করিলে দেখা যায় যে, পাইরুভিক অ্যাসিড হইতে অ্যাসিটিল কো-A এবং আলফা অক্সোগ্লুটারিক অ্যাসিড হইতে সাক্সিলিন কো-A পর্যায় দুইটি ব্যতীত অন্য পর্যায়গুলি উভমুখী (reversible)। সুতরাং ক্রেবস্ চক্রকে উভমুখে

চালনা করা সম্ভব নয়। গ্লাইকোলাইসিস পদ্ধতিতে প্রতি অণু গ্লকোজ বা ফ্রাক্টোজ জারিত হইয়া দুই অণু পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। এই পর্যায়গুলিতে কোন কার্বনডাই অক্সাইড নির্গত না হইলেও দুই অণু 3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড জারিত হইয়া 2 অণু NADH প্রস্তুত হয়। NADH অণুর হাইড্রোজেন পরবর্তী পর্যায়ে (শ্বাস শৃঙ্খলের প্রান্তীয় জারণ দ্রষ্টব্য) অক্সিজেনের সহিত যুক্ত হইয়া জল প্রস্তুত করে। প্রতি অণু পাইরুভিক অ্যাসিড ক্রেবস্ চক্রের মাধ্যমে একবার জারিত হইয়া 3 অণু কার্বন ডাই অক্সাইড এবং পাঁচজোড়া ইলেক্ট্রন লাভ করে। এই পাঁচ জোড়ার মধ্যে চারি জোড়া NAD^+কে এবং এক জোড় FAD কে বিরজিত করে। সুতরাং একটি গ্লুকোজ বা ফ্রাক্টোজ অণু সম্পূর্ণ জারিত করিয়া বার জোড়া (গ্লাইকোলাইসিস পদ্ধতির দুইজোড়া সমেত) ইলেক্ট্রন সৃষ্টি করে। প্রতি জোড়া ইলেক্ট্রনের অন্তিম জারণ $\frac{1}{2}$ অণু অক্সিজেন দ্বারা সম্পন্ন করিয়া জলের সৃষ্টি করে। সুতরাং এক অণু পাইরুভিক অ্যাসিডকে সম্পূর্ণ জারণ করিতে $2\frac{1}{2}$ অণু অক্সিজেনের প্রয়োজন।

$$2H^+ + 2e^- + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow H_2O$$

বা

$$CH_3.\ CO.\ COOH + 2\tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 2H_2O + \text{শক্তি}$$

সুতরাং এক অণু গ্লুকোজ বা ফ্রাক্টোজ (অর্থাৎ দুই অণু পাইরুভিক অ্যাসিড) সম্পূর্ণ জারণ করিতে 5 অণু অক্সিজেনের প্রয়োজন। অবশিষ্ট এক অণু অক্সিজেন গ্লাইকোলাইসিস পর্যায়ের দুই অণু NADH কে জারিত করিতে প্রয়োজন হয়। সুতরাং গ্লুকোজ অণুর সম্পূর্ণ জারণে 6 অণু অক্সিজেনের প্রয়োজন।

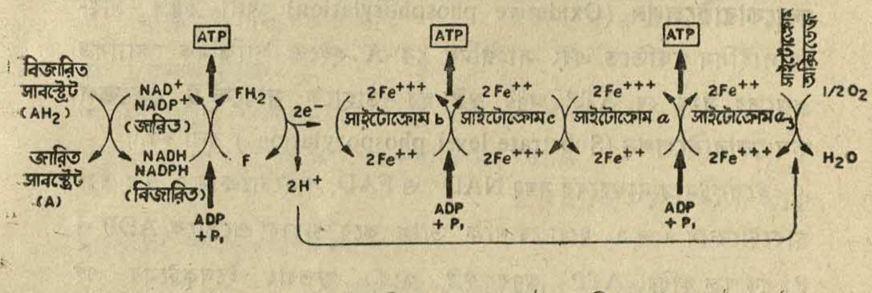
ঘ. প্রান্তীয় শ্বসন (Terminal Respiration) বা **শ্বাস শৃঙ্খলের প্রান্তীয় জারণ** (Terminal oxidation in the respiratory chain) :

ক্রেবস্ চক্রের বিভিন্ন অ্যাসিডের জারণের ফলে যে হাইড্রোজেন অপসারিত হয় তাহা সরাসরি অক্সিজেনের সহিত যুক্ত হইয়া জল প্রস্তুত করে না। ইহা কতিপয় অন্তবর্তী যৌগের মাধ্যমে স্থানান্তরিত হইয়া অবশেষে জল প্রস্তুত করে। এই স্থানান্তর নিম্ন বিজারণ বিভব (low reduction potential) হইতে উচ্চ বিজারণ বিভবের (অর্থাৎ ইলেক্ট্রন গ্রহণ করায়

প্রবণতা) দিকে ধাবিত হয় (বিশদ বিবরণের জন্য চতুর্থ অধ্যায়ে দ্রষ্টব্য)। অক্সিজেনের ইলেক্ট্রন গ্রহণ করিবার প্রবণতা সর্বাপেক্ষা বেশী তাই স্থানান্তরণের অন্তিম পর্যায়ে অক্সিজেন ইলেক্ট্রন গ্রহণ করিয়া জল প্রস্তুত করে। ইলেক্ট্রনের স্থানান্তরণ পদ্ধতিটি মাইটোন্ড্রিয়ার ভিতরের পর্দায় অক্সিসোম (oxysomes) নামক কণিকায় একটি বিশেষ ক্রমানুযায়ী (sequential series) ঘটিয়া থাকে। **ইলেক্ট্রনের এই ক্রমানুযায়ী স্থানান্তকরণ পদ্ধতিকে ইলেক্ট্রন স্থানান্তরণ পদ্ধতি** (electron transport system) **বলা হয়**।

3-ফস্ফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড, পাইরুভিক অ্যাসিড, আইসো-সিট্রিক অ্যাসিড, আল্‌ফা-অক্সোগ্লুটারিক অ্যাসিড এবং ম্যালিক অ্যাসিড হইতে উদ্ভূত হাইড্রোজেন NAD^+ সহ উৎসেচককে বিজারিত করে (চিত্র-25)।

$$NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NADH + H^+$$



চিত্র-25 : শ্বাস পদ্ধতির প্রান্তীয় জারণ। এই পদ্ধতির সর্বশেষে ইলেক্ট্রন গ্রাহক অক্সিজেন, হাইড্রোজেনের (H^+) সহিত যুক্ত হইয়া জল প্রস্তুত হয়। উল্লম্ব তীর চিহ্ন স্থানে ATP প্রস্তুত দেখানো হইয়াছে।

বিজারিত NAD^+ হাইড্রোজেনকে পরবর্তী পর্যায়ে FAD নামক ফ্লাভোপ্রোটীনকে স্থানান্তরিত করিয়া FADকে বিরাজিত করে।

$$NADH + H^+ + FAD \longrightarrow FADH_2 + NAD^+$$

NAD^+ ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচক দ্বারা সৃষ্ট ইলেক্ট্রন গ্রহণ করিয়া পুনরায় বিরাজিত হয়। সাক্সিনিক অ্যাসিডের হাইড্রোজেন NAD^+-র পরিবর্তে সরাসরি FADকে বিরাজিত করে। বিরাজিত FAD-র ইলেক্ট্রন কোএনজাইম Q-এর মাধ্যমে পরবর্তী ইলেক্ট্রন বাহক সাইটোক্রোমে

স্থানান্তরিত করে। এইভাবে সাইটোক্রোম বিজারিত হয় এবং প্রোটনগুলি ($2H^+$) কোষের সাইটোপ্লাসমে মুক্ত অবস্থায় থাকে। কোষে সাইট্রোক্রোম b, c_1, c, a এবং a_3 মাধ্যমে ইলেক্ট্রনগুলি সর্বশেষে সাইট্রোক্রোম অক্সিডেজ (cytochrome oxidase) নামক উৎসেচকের প্রভাবে অক্সিজেনের সহিত যুক্ত হয়। অক্সিজেন, ইলেক্ট্রন ও কোষের মুক্ত দুইটি প্রোটন মিলিত হইয়া পরে জল সৃষ্টি করে।

ইলেক্ট্রন স্থানান্তকরণ পদ্ধতিতে ইলেক্ট্রনগুলি উচ্চ বিজারণ বিভব হইতে নিম্ন বিজারণ বিভবের দিকে ধাবিত হয়। এক বাহক হইতে অন্য বাহকে ইলেক্ট্রনের স্থানান্তরণের ফলে কিছু পরিমাণ শক্তি ত্যাগ করে। এই শক্তি ADP ও P_1 কে যুক্ত করিয়া ATP অণু প্রস্তুত করিতে সাহায্য করে। অক্সিজেন অধিগ্রহণের মাধ্যমে ATP অণুর প্রস্তুত পদ্ধতিকে **অক্সিডেটিভ ফস্‌ফোরাইলেশন** (Oxidative phosphorylation) বলা হয়। গ্লাই-কোলাইসিস পদ্ধতিতে এবং সাক্সিনিল কো-A হইতে সাক্সিনিক অ্যাসিড প্রস্তুতের সময় যে ATP অণুর সৃষ্টি হয় তাহাকে **সাবস্ট্রেট লেভেল ফস্‌ফোরাইলেশন** (Substrate level phosporylation) বলা হয়।

ইলেক্ট্রন স্থানান্তরণের সময় NAD^+ ও FAD, সাইটোক্রোম b ও c এবং সাইট্রোক্রোম a ও a_3 মধ্যে যে শক্তি ত্যাগ করে তাহারা প্রত্যেকে ADP ও P_1 কে যুক্ত করিয়া ATP অণুর সৃষ্টি করে। সুতরাং ইলেক্ট্রনের এই ক্রমপর্যায় NAD^+ হইতে আরম্ভ হইলে তিনটি ATP অণুর সৃষ্টি হয় কিন্তু FAD হইতে আরম্ভ হইলে দুইটি ATP অণুর সৃষ্টি হয়।

উপরোক্ত ব্যাখ্যা হইতে ইহা নিশ্চিত যে পাইরুভিক, আইসোসিট্রিক ও ম্যালিক অ্যাসিডের জারণ NAD^+ দ্বারা সাধিত হয়। সুতরাং উপরোক্ত ক্ষেত্রে প্রতি অক্সিজেন পরমাণু (atom) বিজারিত করিয়া তিনটি ATP অণুর সৃষ্টি করে। আল্‌ফা অক্সোগ্লুটারিক অ্যাসিড হইতে চারটি ATP এবং সাক্সিনিক অ্যাসিড হইতে দুই অণুর সৃষ্টি হয়। প্রতি অক্সিজেন পরমাণু দ্বারা অজৈব ফস্‌ফেট এস্টার যুক্ত হইয়া ATP প্রস্তুতকরণকে P/O হার (ratio) বলা হয়। সাবস্ট্রেট জারণের ফলে উদ্ভুত শক্তি P/O হার দ্বারা নির্ণয় করা যায়। আল্‌ফা অক্সো গ্লুটারিক অ্যাসিডের P/O হার 4 ; পাইরুভিক, ম্যালিক,

আইসোসিট্রিক্ প্রভৃতি অ্যাসিডের P/O হার 3 এবং সাক্সিনিক অ্যাসিডের P/O হার 2।

শ্বসনে ATP অণুর উৎপাদনের হিসাব-নিকাশ (balance sheet) নিম্নের ছকে দেখানো হইল।

ক. গ্লাইকোলাইসিসে

3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড→
1-3 ডাইফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড — $2NADH + H^+ \rightarrow 6$ ATP

1-3 ডাইফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড→
3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড — সাবস্ট্রেট লেভেল → 1 ATP

2-ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড→
পাইরুভিক অ্যাসিড — ফসফোরাইলেশন → 1 ATP

খ. সক্রিয় অ্যাসিটেট প্রস্তুতি — $2\ NADH + H^+ \rightarrow 6$ ATP

গ. ক্রেবস্ চক্রে

আইসো সিট্রিক→অক্সালোসাক্সিনিক অ্যাসিড $2\ NADH + H^+ \rightarrow 6$ ATP

আল্ফা-অক্সো গ্লুটারিক অ্যাসিড→সাক্সিনিল কো-A
$2\ NADH + H^+ \rightarrow 6$ ATP

সাক্সিনিল কো-A→সাক্সিনিক অ্যাসিড
(সাবস্ট্রেট লেভেল ফসফোরাইলেশন) → 2 ATP

সাক্সিনিক অ্যাসিড→ফিউমারিক অ্যাসিড $2\ FADH_2 \rightarrow 4$ ATP

ম্যালিক অ্যাসিড→অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড $2\ NADH + H^+$
$\rightarrow 6$ ATP

মোট—38 ATP

উপরোক্ত ATP অণুর হিসাব-নিকাশের ছক হইতে ইহা নিশ্চিত যে গ্লুকোজ বা ফ্রাক্টোজ অণুর সম্পূর্ণ জারণ ক্রিয়ার ফলে 38টি ATP অণুর সৃষ্টি হয়। প্রতি ATP অণুর প্রান্তীয় ফসফেটে 10 কিলোক্যালরি শক্তি নিবদ্ধ থাকে। সুতরাং গ্লুকোজ বা ফ্রাক্টোজ সম্পূর্ণ জারণ ক্রিয়ায় 38টি ATP অর্থাৎ 380 কিলো ক্যালরি শক্তি উৎপাদিত হয়। প্রতি অণু গ্লুকোজ বা ফ্রাক্টোজকে পোড়াইলে 673 কিলো ক্যালরি শক্তি পাওয়া যায়। সুতরাং

উপরোক্ত তথ্য হইতে শ্বসনের দক্ষতা (efficiency) 380/673 অর্থাৎ শতকরা 56। অবশিষ্ট 46 শতাংশ শক্তি তাপরূপে নির্গত হয়। এই তাপ শক্তি উদ্ভিদকে উষ্ণ রাখা ছাড়া কোষে আর কোন বিশেষ প্রয়োজনীয় কার্য করে না।

গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিড চক্র (Glyoxlic Acid Cycle) : ঈষ্ট (yeast), কতিপয় ছত্রাক (molds) এবং ব্যাক্‌টিরিয়াতে ক্রেবস্‌ চক্রের বিভিন্নতা (variation) পরিলক্ষিত হয়। এই সমস্ত উদ্ভিদে আলফা-অক্সো গ্লুটারিক অ্যাসিডকে এড়াইয়া অন্য একটি উপপথে (by pass) সাক্সিনিক অ্যাসিড ও গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিড প্রস্তুত হয়। গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিডের মাধ্যমে পুনরায় চক্রাকারে ফিরিয়া আছে। ক্রেবস্‌ চক্রের এই উপপথকে **গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিড চক্র** নামে অভিহিত।

এই চক্রের দুইটি প্রয়োজনীয় পর্যায় নিম্নে উল্লেখ করা হইল।

(i) আলফা-অক্সোগ্লুটারিক অ্যাসিডকে এড়াইয়া আইসোসিট্রিক অ্যাসিড সাক্সিনিক ও গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিড প্রস্তুত হয়। এই বিক্রিয়াটি আইসোসিট্রেজ (isocitrase) নামক উৎসেচকের প্রভাবে সংঘটিত হয়।

$$\begin{array}{c} HC\text{—}COOH \\ | \\ OH\text{-}C\text{—}H\text{—}COOH \\ | \\ CH_2\text{—}COOH \end{array} \xrightarrow{\text{আইসোসিট্রেজ}} \begin{array}{c} H_2C\text{—}COOH \\ | \\ H_2C\text{—}COOH \end{array} + \begin{array}{c} CHO \\ | \\ COOH \end{array}$$

আইসো সিট্রিক অ্যাসিড — সাক্সিনিক অ্যাসিড — গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিড

(ii) এই চক্রের দ্বিতীয় পর্যায়ে ম্যালেট সিন্থেটেজ উৎসেচকের প্রভাবে গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিড অ্যাসিটিল কো-A সহিত যুক্ত হইয়া ম্যালিক অ্যাসিড প্রস্তুত করে।

$$\begin{array}{c} CHO \\ | \\ COOH \end{array} + \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CO\text{—}S\text{—}Co\text{-}A \end{array} \xrightarrow{+H_2O} \begin{array}{c} COOH \\ | \\ HOC\text{—}H \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COOH \end{array} + SH\text{—}Co\text{-}A$$

গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিড — অ্যাসিটিল কো-A — ম্যালিক অ্যাসিড

ম্যালিক অ্যাসিড জারিত হইয়া অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড প্রস্তুত করে। সুতরাং ক্রেবস্ চক্রকে এড়াইয়া গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিড চক্রেও অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড প্রস্তুত হয়।

হেক্সোজ মনোফসফেট শান্ট (Hexose Monophosphate shunt or HMP) **পেন্টোজ-ফসফেট পথ*** (Pentose Phosphate Pathway বা PPP) :

বিগত 30 বৎসরে গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবস্ চক্রের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেটের জারণ ক্রিয়ার ধারণা গড়িয়া উঠিয়াছে, তখন পাশাপাশি বৈজ্ঞানিকদের মধ্যে এই ধারণাও নিশ্চিত যে, কার্বোহাইড্রেটের সবাত জারণ একমাত্র উপরোক্ত পদ্ধতিতে সাধিত হয় না। 1935 খ্রীষ্টাব্দে ভারবুর্গ (Warburg) এবং 1938 খ্রীষ্টাব্দে ডিকেন্স (Dickens) নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করেন যে, কার্বোহাইড্রেটের সবাত ও অবাত জারণ পদ্ধতি গ্লাইকোলাইসিসের পূর্বেই নিজ নিজ স্বতন্ত্র পথে অগ্রসর হয়। কার্বোহাইড্রেটের এই ভিন্ন জারণ পদ্ধতিকে **হেক্সোজ মনোফসফেট শান্ট** বা **পেন্টোজ ফসফেট পথ** বলা হয়।

এই পথটি $NADP^+$-র উপর নির্ভরশীল এবং 6-ফসফোগ্লুকোনিক অ্যাসিড নামক একটি অন্তবর্তী যৌগের মাধ্যমে সাধিত হয়। এই পথের অপর একটি বৈশিষ্ট্য হইল যে কার্বোহাইড্রেটের জারণ ক্রিয়া কতিপয় 5-কার্বন বিশিষ্ট ফসফেট যৌগের মাধ্যমে সাধিত হয়। পেন্টোজ ফসফেট পথটি কোষস্থ অঙ্গের মধ্যে না হইয়া কোষের সাইটোপ্লাসমে সাধিত হয়।

কার্বোহাইড্রেটের এই জারণ প্রক্রিয়ায় 6 অণু গ্লুকোজ সক্রিয়ভাবে অংশগ্রহণ করিলেও কার্যতঃ এক অণু গ্লুকোজ জারিত হইয়া জল ও কার্বন ডাই অক্সাইড নির্গত করে এবং অবশিষ্ট 5 অণু পুনরায় প্রস্তুত হয়। এই পথটি গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ার স্বতন্ত্র হইলেও কতকগুলি সাধারণ যৌগের উপস্থিতির জন্য এই দুইটির মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্কের কথা স্বীকার করা হইয়াছে। গ্লাইকোলাইসিস পদ্ধতির সঙ্গে এই পথের প্রধান পার্থক্য এই যে, পেন্টোজ ফসফেট পথটি NAD^+ নির্ভরশীল এবং যে সমস্ত রাসায়নিক বস্তু

* এই পথকে অনেক বৈজ্ঞানিক সরাসরি জারণ পথ (Direct Oxidation Pathway) বা ভারবুর্গ-ডিকেন্স পথও (Warburg-Dickens Pathway) বলিয়া থাকেন।

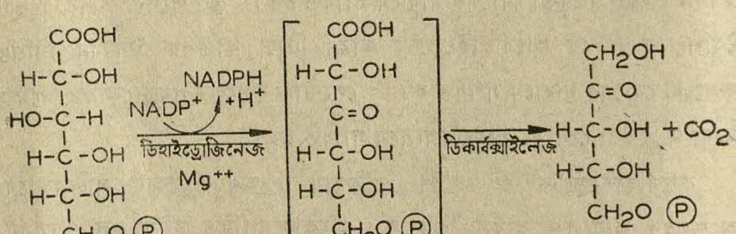
গ্লাইকোলাইসিসকে বাধাপ্রদান (inhibit) করে তাহারা এই পথের পক্ষে অসংবেদী (insensitive)।

পেন্টোজ ফসফেট পথের সমগ্র চিত্রটি নিম্নে (চিত্র-26) প্রকাশিত হইল।

এই গতিপথের প্রথম পর্যায়টি গ্লাইকোলাইসিসের অনুরূপ অর্থাৎ হেক্সোকাইনেজ উৎসেচকের সাহায্যে ATP অণুর প্রান্তীয় ফসফেটটি গ্লুকোজ অণুতে যুক্ত হইয়া গ্লুকোজ 6-ফসফেট প্রস্তুত করে।

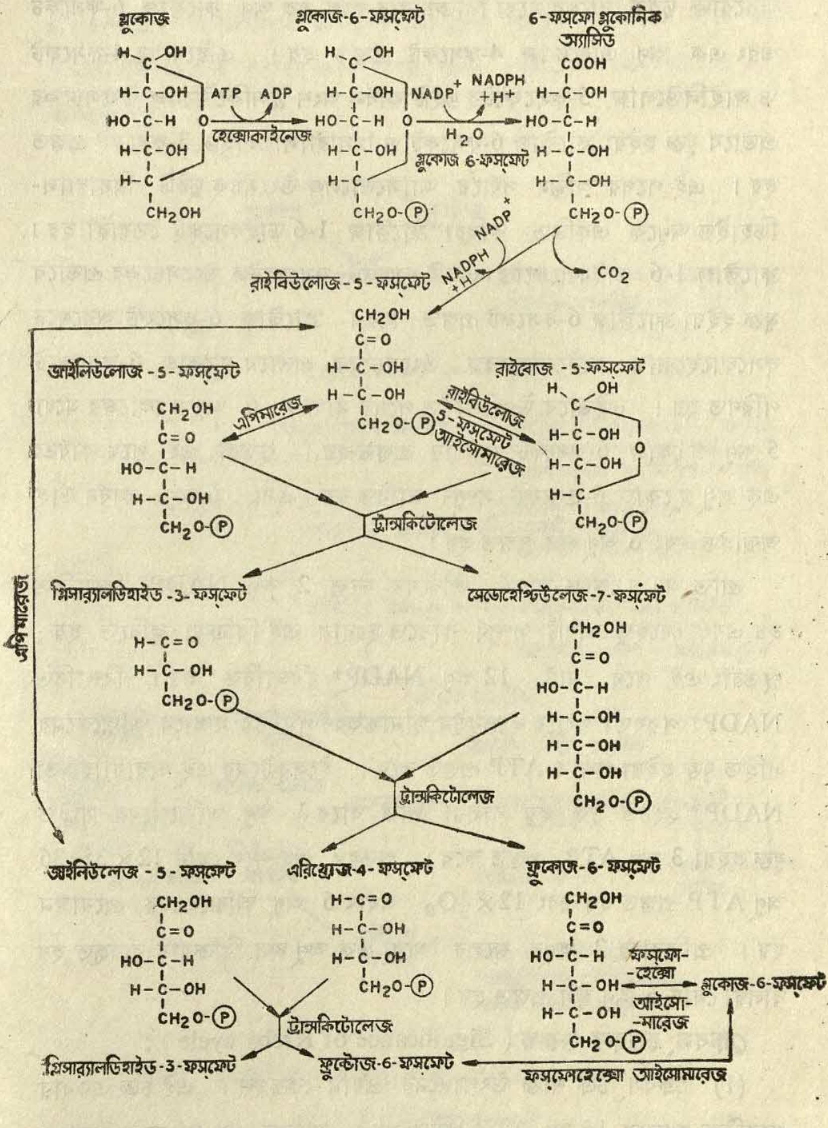
$$\text{গ্লুকোজ} + ATP \xrightarrow[\text{হেক্সোকাইনেজ}]{} \text{গ্লুকোজ-6-ফসফেট} + ADP$$

গ্লুকোজ 6-ফসফেট ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের সাহায্যে এবং এক অণু জলের উপস্থিতিতে গ্লুকোজ-6-ফসফেট জারিত হইয়া 6-ফসফোগ্লুকোনিক অ্যাসিড প্রস্তুত করে। এই বিক্রিয়ায় $NADP^+$ বিজারিত হয়। 6-ফসফো-গ্লুকোনিক অ্যাসিড কোষে সঞ্চিত না থাকিয়া তৎক্ষণাৎ ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের প্রভাবে বিজারণ ও কার্বাক্সিলহরণ (dehydrogenation and decarboxylation) প্রক্রিয়ায় কার্বন ডাই অক্সাইড ও রাইবিউলোজ 5-ফসফেট নামক একটি 5-কার্বন বিশিষ্ট যৌগ প্রস্তুত করে। এই পর্যায়টি উভমুখী নয় এবং এক্ষেত্রেও একটি $NADP^+$ অণু বিজারিত হয়।



6- ফসফো গ্লুকোনিক অ্যাসিড   6-ফসফো, 3-কিটো গ্লুকোনিক অ্যাসিড   রাইবিউলোজ 5-ফসফেট

রাইবিউলোজ 5-ফসফেট রাইবিউলোজ 5-ফসফেট আইসোমারেজ উৎসেচকের প্রভাবে রাইবোজ 5-ফসফেট এবং রাইবিউলোজ এপিমারেজের প্রভাবে জাইলিউলোজ 5-ফসফেট পরিণত হয়। রাইবোজ 5-ফসফেট এবং জাইলিউলোজ 5-ফসফেট ট্রান্সকিটোলেজ উৎসেচকের প্রভাবে 7-কার্বন বিশিষ্ট সোডোহেপ্টিউলোজ 7-ফসফেট এবং এক অণু গ্লিসার্যালডিহাইড 3-ফসফেট



চিত্র-26 : পেণ্টোজ ফস্‌ফেট পথের রেখাচিত্র

উৎপন্ন করে। এই পথের পরবর্তী পর্যায়ে ট্রান্সঅ্যালডোলেজ উৎসেচকের প্রভাবে উপরোক্ত দুইটি যৌগের মধ্যে বিক্রিয়ায়ার ফলে এক অণু ফ্রাক্টোজ 6-ফসফেট এবং এক অণু এরিথ্রোজ 4-ফসফেট প্রস্তুত হয়। এরিথ্রোজ 4-ফসফেট ও জাইলিউলোজ 5-ফসফেটের দুইটি কার্বন অংশ ট্রান্সকিটোলেজ উৎসেচকের প্রভাবে যুক্ত হইয়া ফ্রাক্টোজ 6-ফসফেট ও গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3-ফসফেট প্রস্তুত হয়। এই পথের অন্তিম পর্যায়ে অ্যালডোলেজ উৎসেচক দুইটি গ্লিসার‍্যাল-ডিহাইড অণুকে একত্রিত করিয়া ফ্রাক্টোজ 1-6 ডাইফসফেট তৈয়ারী হয়। ফ্রাক্টোজ 1-6 ডাইফসফেটের একটি ফসফেট ফসফেটেজ উৎসেচকের প্রভাবে মুক্ত হইয়া ফ্রাক্টোজ 6-ফসফেট প্রস্তুত করে। ফ্রাক্টোজ 6-ফসফেট অবশেষে ফসফোহেক্সোজ আইসোমারেজ উৎসেচকের প্রভাবে গ্লুকোজ 6-ফসফেটে পরিণত হয়। এইভাবে উপরিবর্ণিত পথের মাধ্যমে 6 অণু গ্লুকোজের মধ্যে 5 অণু গ্লুকোজ 6-ফসফেট পুনরায় প্রস্তুত হয়। সুতরাং এই পথে কার্যতঃ এক অণু গ্লুকোজ 6-ফসফেট সম্পূর্ণ জারিত হয় এবং 6 অণু কার্বন ডাই অক্সাইড এবং 6 অণু জল প্রস্তুত হয়।

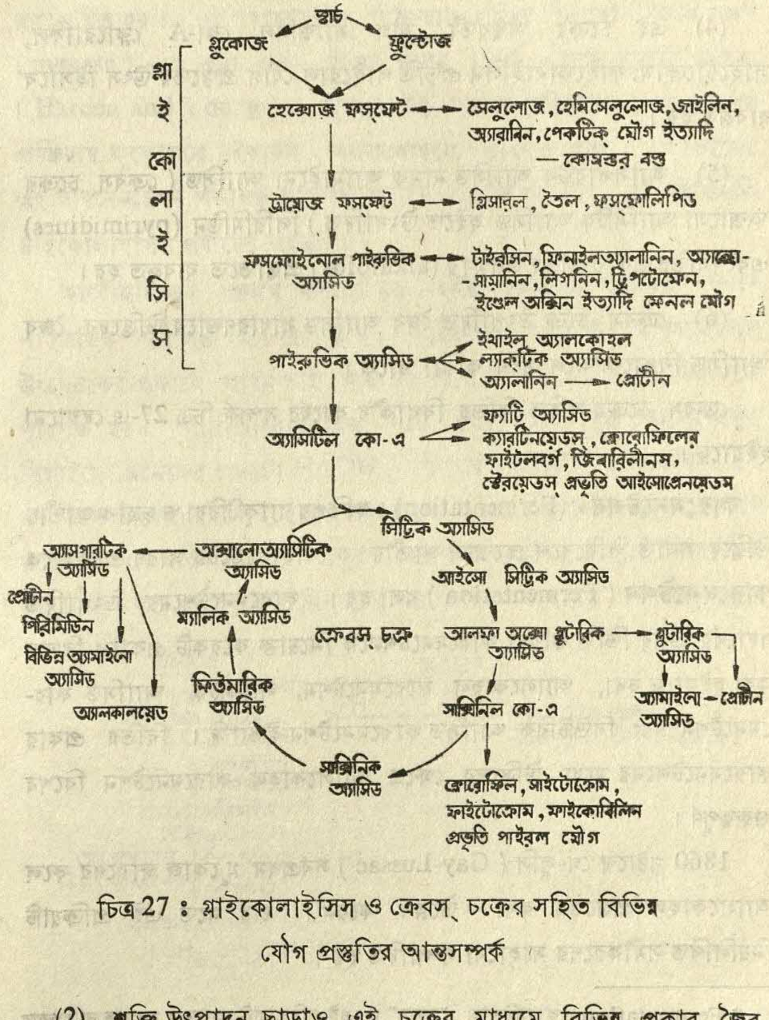
প্রতি অণু গ্লুকোজ সম্পূর্ণ জারণের ফলে 2 অণু $NADP^+$ বিজারিত হয় এবং যেহেতু পথটি সম্পূর্ণ করিতে ছয়বার এই বিক্রিয়া করিতে হয়; সুতরাং এই পথে মোট 12 অণু $NADP^+$ বিজারিত হয়। বিজারিত $NADP^+$ পরবর্তী পর্যায়ে ইলেক্ট্রন স্থানান্তকরণ পদ্ধতির মাধ্যমে অক্সিজেনের সহিত যুক্ত হইয়া জল ও ATP প্রস্তুত করে। ইলেক্ট্রনের এই ধারাবাহিকতা $NADP^+$ হইতে সুরু হয় বলিয়া প্রতি বারে $\frac{1}{2}$ অণু অক্সিজেনের সহিত যুক্ত হইয়া 3 অণু ATP প্রস্তুত করে। সুতরাং এই পথে মোট $12 \times 3 = 36$ অণু ATP প্রস্তুত হয় এবং $12 \times \frac{1}{2}O_2$ অর্থাৎ 6 অণু অক্সিজেনের প্রয়োজন হয়। প্রতিবারে 2 অণুর জলের মধ্যে এক অণু জল বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয় বলিয়া মোট 6 অণু জল প্রস্তুত হয়।

ক্রেবস্ চক্রের গুরুত্ব (Significance of Krebs cycle) :

(1) ক্রেবস্ চক্র শক্তি উৎপাদনের প্রধান কেন্দ্রস্থল। এই চক্র একবার আবর্তিত হওয়ায় 15 অণু ATP প্রস্তুত হয়। শ্বসনের উৎপাদিত অধিকাংশ শক্তি এই চক্রের মাধ্যমে ঘটিয়া থাকে।

ইলেক্ট্রন স্থানান্তরণ প্রক্রিয়ায় প্রতি আবর্তনে 3 অণু ATP প্রস্তুত হয়।

সুতরাং এক অণু গ্লুকোজ এই চক্রের মাধ্যমে জারিত হইয়া 30 অণু ATP প্রস্তুত করে। শ্বসন উদ্ভূত এই শক্তি উদ্ভিদের বিভিন্ন বিপাকীয় কার্যে অর্থাৎ খনিজ লবণ ও জল শোষণ ও পরিবহন, বৃদ্ধি, চলন ও গমন ইত্যাদি কাজে ব্যবহৃত হয়।



চিত্র 27 : গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবস্ চক্রের সহিত বিভিন্ন যৌগ প্রস্তুতির আন্তসম্পর্ক

(2) শক্তি উৎপাদন ছাড়াও এই চক্রের মাধ্যমে বিভিন্ন প্রকার জৈব অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

(3) ক্রেবস্ চক্র নাইট্রোজেন বিপাক বিশেষতঃ অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপাদনের সঙ্গে অঙ্গাঙ্গীভাবে জড়িত। ক্রেবস্ চক্রের পাইরুভিক, আল্ফা অক্সো গ্লুটারিক এবং অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড গুলি অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রস্তুতের অপরিহার্য জৈব হিসাবে ব্যবহৃত হয় (বিশদ বিবরণের জন্য "নাইট্রোজেন বিপাক" অধ্যায় দ্রষ্টব্য)।

(4) এই চক্রের অন্তবর্তী যৌগ সাক্সিনিল কো-A ক্লোরোফিল, সাইটোক্রোম, ফাইকোবাইলিন প্রভৃতি পাইরোল যৌগ প্রস্তুতের উৎস হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

(5) অ্যাসপারটিক অ্যাসিড নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড (ক্রেবস্ চক্রের অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড হইতে উৎপাদিত) পিরিমিডিন (pyrimidines) এবং বিভিন্ন প্রকার উদ্ভিদ উপক্ষার (alkaloids) প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

(6) ক্রেবস্ চক্রে উৎপাদিত জৈব অ্যাসিড সাধারণভাবে উদ্ভিদের জৈব অ্যাসিড বিপাকে অংশ গ্রহণ করিয়া থাকে।

ক্রেবস্ চক্রের সহিত বিভিন্ন বিপাকীর কার্যের সম্পর্ক চিত্র 27-এ দেখানো হইয়াছে।

ফারমেনটেশন* (Fermentation) : কতিপয় ব্যাক্টিরিয়া ও ছত্রাক জাতীয় উদ্ভিদে অবাত পরিবেশে হেক্সোজ জাতীয় কার্বোহাইড্রেটের জারণ প্রক্রিয়াকে **ফারমেনটেশন** (Fermentation) বলা হয়। ফারমেনটেশনের উৎপাদিত পদার্থের উপর ভিত্তি করিয়া ফারমেনটেশনকে নিম্নোক্ত কয়েকটি প্রকারে বিভক্ত করা হইয়াছে যথা, অ্যালকোহল ফারমেনটেশন, ল্যাকটিক অ্যাসিড ফারমেনটেশন এবং বিউটিরিক অ্যাসিড ফারমেনটেশন ইত্যাদি। বিভিন্ন প্রকার ফারমেনটেশনের মধ্যে উদ্ভিদের ক্ষেত্রে অ্যালকোহল ফারমেনটেশন বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ।

1860 খৃষ্টাব্দে গে-লুসি (Gay-Lussac) সর্বপ্রথম গ্লুকোজ জারণের ফলে অ্যালকোহল প্রস্তুতের কথা উল্লেখ করেন। তার মতে এই প্রক্রিয়াটি নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে সম্পাদিত হয়।

---

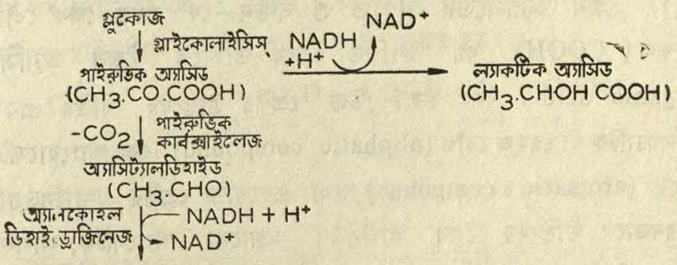
* Fermentation-এর পরিভাষা "সন্ধান"। এই পরিভাষাটি লেখকের মনঃপূত না হওয়ায় পরিভাষাটি ব্যবহার করা হয় নাই।

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 27 \text{ কিলো ক্যালরি}$$

ইথাইল অ্যালকোহল

এরপর 1897 খৃষ্টাব্দে বুক্‌নার (Buchner) ঈষ্টে (yeast) ফারমেনটেশনের কথা উল্লেখ করেন। লঘু গ্লুকোজ দ্রবণে কিছু শুষ্ক ঈষ্ট মিশ্রিত করিয়া রাখিলে গ্লুকোজ দ্রবণ শীঘ্রই অ্যালকোহল ও কার্বন ডাই অক্সাইডে রূপান্তরিত হয়। এই রাসায়নিক বিক্রিয়ার সক্রিয় উপাদান "জাইমেজ" (zymase) এর কথা প্রথম উল্লেখ করেন 1905 খৃষ্টাব্দে হার্ডেন ও ইয়ং (Harden and Young)। সুতরাং ঈষ্ট অবাত পরিবেশে ফারমেনটেশন প্রক্রিয়ায় গ্লুকোজকে ইথাইল অ্যালকোহলে পরিণত করে। গ্লুকোজের এই ফারমেনটেশন পদ্ধতিটি কতিপয় পর্যায়ে সাধিত হয় এবং এই পর্যায়গুলি গ্লাইকোলাইসিস পর্যায়ের অনুরূপ।

কার্বোহাইড্রেট প্রথমে ফসফেট যুক্ত হইয়া কতিপয় পর্যায়ের মাধ্যমে পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। পাইরুভিক অ্যাসিড কার্বক্সাইলেজ উৎসেচকের প্রভাবে কার্বন ডাই অক্সাইড ত্যাগ করিয়া অ্যাসিট্যালডিহাইডে পরিণত হয়। অ্যাসিট্যালডিহাইড পরে দস্তা (Zn) যুক্ত অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজিনেজের প্রভাবে NADH (বিজারিত NAD^+ গ্লাইকোলাইসিস পদ্ধতিতে উৎপন্ন) হইতে হাইড্রোজেন গ্রহণ করিয়া বিজারিত হইয়া ইথাইল অ্যালকোহলে পরিবর্তিত হয়। গ্লুকোজের ফারমেনটেশন পদ্ধতিটি নিম্নে চিত্র সহ চিহ্নিত করা হইল (বিশদ বিবরণের জন্য 'গ্লাইকোলাইসিস' অধ্যায় দ্রষ্টব্য)।



উপরোক্ত ছক হইতে ইহা নিশ্চিত যে, ফারমেনটেশন ও অবাত শ্বসনের রাসায়নিক পর্যায়গুলি মূলতঃ এক। উভয় পদ্ধতির সাবস্ট্রেট ও উৎপাদিত

যৌগ (অ্যালকোহল ফারমেনটেশনের ক্ষেত্রে) অভিন্ন। ফারমেনটেশনের প্রয়োজনীয় সমস্ত উৎসেচক উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদ হইতে অন্তরণ (isolated) সম্ভব হইয়াছে। উভয় পদ্ধতিতে সালফাইট আয়ণ অ্যাসিট্যালডিহাইডের প্রতিবন্ধকের কার্য করে। দ্রবণীয় ফসফেটযোগে উভয় পদ্ধতির হার বৃদ্ধি পায়। দুইটি পদ্ধতি অভিন্ন হইলেও ফারমেনটেশন ও অবাত শ্বসনের মধ্যে পার্থক্য পরিলক্ষিত হয়।

(1) ফারমেনটেশন সাধারণতঃ ব্যাক্টিরিয়া, ঈষ্ট প্রভৃতি নিম্নশ্রেণীর উদ্ভিদে সম্পাদিত হয় ; অবাত শ্বসন উচ্চ শ্রেণী উদ্ভিদের বৈশিষ্ট।

(2) ঈষ্টের ক্ষেত্রে অবাত শ্বসনের উৎপাদিত ফল ইথাইল অ্যালকোহল কিন্তু ফারমেনটেশনে অ্যালকোহল ব্যতীত ল্যাক্টিক ও বিউটিরিক অ্যাসিড ইত্যাদি উৎপাদিত হইতে পারে।

(3) সাধারণভাবে ফারমেনটেশন বহিঃকোষীয় (extra cellular) এবং অবাত শ্বসন অন্তঃকোষীয় (intra cellular) পদ্ধতি।

(4) অবাত শ্বসনের অন্তিম ফল পরবর্তী পর্যায়ে জারিত হয় কিন্তু ফারমেনটেশনের অন্তিম ফল পরবর্তী পর্যায়ে জারিত হয় না।

(5) ফারমেনটেশন প্রক্রিয়াটি "জাইমেজ" নামক একটি যৌগ উৎসেচকের সাহায্যে সাধিত হয় ; কিন্তু অবাত শ্বসনে নির্দিষ্ট প্রক্রিয়ার জন্য নির্দিষ্ট উৎসেচকের প্রয়োজন।

জৈব অ্যাসিডের বিপাক (Organic Acid Metabolism) :

(1) **জৈব অ্যাসিডের প্রকৃতি ও বন্টন**—যে সমস্ত জৈব যৌগে কার্বক্সিল (⁻COOH) বর্গ উপস্থিত থাকে তাহাকে **জৈব অ্যাসিড** (organic acid) বলা হয়। উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদের বিভিন্ন প্রকার অ্যালিফ্যাটিক বা স্নেহজ যৌগ (aliphatic compound) এবং অ্যারোমেটিক যৌগের (aromatic compound) মধ্যে প্রথমোক্ত শ্রেণীর অ্যাসিডগুলি সাধারণভাবে উদ্ভিদের জৈব অ্যাসিড। অক্সালো অ্যাসেটিক, আল্‌ফা-অক্সো গ্লুটারিক, ম্যালিক, ফিউমারিক ইত্যাদি জৈব অ্যাসিডগুলি **দ্বিকার্বক্সিলযুক্ত** (dicarboxylic)। সিট্রিক, আইসো-সিট্রিক, অ্যাকো-নাইটিক, অক্সালো সাক্সিনিক ইত্যাদি অ্যাসিডগুলি **ত্রিকার্বক্সিলযুক্ত** (tricarboxylic)। পাইরুভিক, আল্‌ফা-অক্সো গ্লুটারিক, অক্সালো অ্যাসেটিক

ইত্যাদি জৈব অ্যাসিডে কিটোন (=CO) উপস্থিত থাকায় ইহাদের **কিটো অ্যাসিড** (keto acids) বলা হয়। ম্যালিক, সিট্রিক, টারটারিক, আইসো-সিট্রিক অ্যাসিডে কার্বক্সিল বর্গের সহিত হাইড্রক্সিল (–OH) বর্গ উপস্থিত থাকায় ইহারা **হাইড্রক্সি অ্যাসিড** (hydroxy acids) নামে পরিচিত।

বিভিন্ন প্রকার জৈব অ্যাসিড উদ্ভিদের কোষ-রসে সিক্ত থাকে এবং এদের পরিমাণ কোষ-রসে ভিন্ন থাকে। বিভিন্ন জৈব অ্যাসিডের মধ্যে সিট্রিক অ্যাসিড সমস্ত উদ্ভিদে বিদ্যমান থাকিলেও এর পরিমাণ লেবু জাতীয় উদ্ভিদে অপেক্ষাকৃত অনেক বেশী। বিভিন্ন রসাল পত্রে (succulent leaves) এবং ব্ল্যাকবেরী ফলে আইসো-সিট্রিক অ্যাসিড অধিক পরিমাণে সঞ্চিত থাকে। আপেল এবং কলায় ম্যালিক অ্যাসিড, তেঁতুলে টারটারিক অ্যাসিড এবং বিভিন্ন প্রকার পাতা ও ফলে অক্সালিক অ্যাসিড বেশীমাত্রায় সঞ্চিত থাকে। জৈব অ্যাসিডের মধ্যে ফিউমারিক ও সাক্সিনিক অ্যাসিড কোষে অধিক পরিমাণে সঞ্চিত থাকে না।

(2) **জৈব অ্যাসিডের বিপাক**ঃ অতি প্রাচীনকাল হইতেই বৈজ্ঞানিকেরা উদ্ভিদে জৈব অ্যাসিডের উপস্থিতির কথা উল্লেখ করিলেও, ইহাদের বিপাক কার্যের পূর্ণ ব্যাখ্যা অদ্যাবধি সম্ভব হয় নাই। বৈজ্ঞানিকদের মতে ক্রেবস্ চক্রই অধিকাংশ জৈব অ্যাসিডের উৎস। ক্রেবস্ চক্রের বিশেষ কোন পর্যায় প্রতিবন্ধক হইলে জৈব অ্যাসিডের সঞ্চিত হওয়ার সম্ভাবনা পরিলক্ষিত হয়। গুরুত্বপূর্ণ জৈব অ্যাসিডগুলির মধ্যে অক্সালিক ও টারটারিক অ্যাসিড ব্যতীত প্রায় সব অ্যাসিডই ক্রেবস্ চক্রের মাধ্যমে উদ্ভূত হয়। উদ্ভিদে অক্সালিক অ্যাসিড গ্লাইকলিক অ্যাসিড জারিত হইয়া প্রস্তুত হয়।

$$\underset{\text{গ্লাইকলিক অ্যাসিড}}{\begin{matrix} COOH \\ | \\ CH_2OH \end{matrix}} + O_2 \xrightarrow{-H_2O_2} \underset{\text{গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিড}}{\begin{matrix} COOH \\ | \\ CHO \end{matrix}} \xrightarrow{\frac{1}{2}O_2} \underset{\text{অক্সালিক অ্যাসিড}}{\begin{matrix} COOH \\ | \\ COOH \end{matrix}}$$

উদ্ভিদের জৈব অ্যাসিডগুলি স্নেহ পদার্থ ও অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লেষণে সাহায্য করে। উদ্ভিদের চর্বিজাতীয় অ্যাসিডগুলি অ্যাসিটিল কো-A ও ম্যালোনিল কো-A হইতে সংশ্লেষিত হইয়া থাকে (বিশদ বিবরণের জন্য ষষ্ঠ অধ্যায়ে "লিপিড বিপাক" দ্রষ্টব্য)।

বিভিন্ন জৈব অ্যাসিড অ্যামোনিয়া ও বিজারিত NAD^+ বিক্রিয়া ঘটাইয়া অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রস্তুত করে।

উৎসেচক

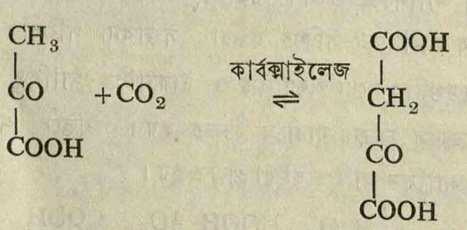
আল্‌ফা অক্সো গ্লুটারিক অ্যাসিড + NH_3 + NADH ⇌ গ্লুটামিক অ্যাসিড + NAD^+ + H_2O

উৎসেচক

গ্লুটামিক অ্যাসিড + অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড ⇌ আল্‌ফা-অক্সো গ্লুটারিক অ্যাসিড + অ্যাসপারটিক অ্যাসিড

[বিশদ বিবরণের জন্য অষ্টম অধ্যায়ের "অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লেষ" দ্রষ্টব্য]।

রসাল উদ্ভিদে (succulent plants) সালোকসংশ্লেষ ব্যতীত কার্বন ডাই অক্সাইড সক্রিয়ভাবে কোষে নানাবিধ জৈব অ্যাসিডে সংবন্ধন করিয়া রাখে। কার্বন ডাই অক্সাইডের এই সংবন্ধন আলোকের উপস্থিতিতে ঘটিয়া থাকে। কার্বন ডাই অক্সাইডের এই সংবন্ধন পদ্ধতিটি জৈব অ্যাসিড বিপাকের সহিত সম্পর্কযুক্ত। উড ও ওয়ার্কম্যান (Wood and Werkman) 1936 খৃষ্টাব্দে কার্বন ডাই অক্সাইডের এই সংবন্ধন পদ্ধতিটি ব্যাক্টিরিয়াতে সর্বপ্রথম উল্লেখ করেন। উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদেও এই সংবন্ধন পদ্ধতিটি প্রমাণিত হয়।



পাইরুভিক অ্যাসিড অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড

উপরোক্ত সমীকরণকে **উড ও ওয়ার্কম্যানের বিক্রিয়া** (Wood and Werkman reaction) নামে পরিচিত।

1804 খৃষ্টাব্দে ডি সস্যুর (de Saussure) সর্বপ্রথম বট (Indian fig) গাছে রাত্রে জৈব অ্যাসিডের আধিক্য (acidification) এবং দিবাভাগে জৈব অ্যাসিডের অবণতি (deacidification) লক্ষ্য করেন। এর পর Crassulaceae এবং Cactaceae গোত্রের একাধিক রসাল উদ্ভিদে (যেমন,

Bryophyllum, Crassula, Kalanchoe, Kleinia, Sedum ইত্যাদি) জৈব অ্যাসিডের পরিমাণের হ্রাস-বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। রাত্রে জৈব অ্যাসিডের (প্রধানতঃ ম্যালিক অ্যাসিডের) আধিক্যকে **অন্ধকার অ্যাসিডিফিকেশন** (dark acidification) এবং আলোকের উপস্থিতিতে অ্যাসিডের পরিমাণের হ্রাসপ্রাপ্তিকে **আলোক ডিঅ্যাসিডিফিকেশন** (light deacidification) বলা হয়। দিন ও রাত্রে জৈব অ্যাসিডের এই পর্যাবৃত্ত (periodic) পরিবর্তনকে **প্রাত্যহিক অ্যাসিড চক্র** (diurnal acid cycle) বা **ক্রাস্থলেশিয়ান অ্যাসিড বিপাক** (Crassulacean acid metabolism বা CAM) বলা হয়।

রাত্রে শ্বসন উদ্ভূত কার্বন ডাই অক্সাইড অন্ধকার অ্যাসিডিফিকেশনে ব্যবহৃত হওয়ার রসাল উদ্ভিদের রাত্রিকালে শ্বাসহার (RQ) একের কম পরিলক্ষিত হয়, এমনকি মধ্যরাত্রে এই হার শূন্যও (0·0) হইতে পারে। দিনের বেলায় কার্বন ডাই অক্সাইড নির্গত হওয়ার ফলে শ্বাসহার (RQ) একের বেশী হয়।

শ্বসনের উপর প্রভাব (Factors affecting respiration) ঃ

বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় কার্যের ন্যায় শ্বসনও বিভিন্ন প্রভাবের উপর নির্ভরশীল। এই প্রভাবগুলি বহিঃস্থ এবং অন্তস্থ দুই প্রকারের হইতে পারে।

বহিঃস্থ প্রভাব ঃ

(1) **বায়ুমণ্ডলের অক্সিজেনের ঘনত্ব** (Oxygen concentration of the air) ঃ বায়ুমণ্ডলে অক্সিজেনের ঘনত্বের পরিমাণ বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে, নির্দিষ্ট একটি সীমারেখা পর্যন্ত শ্বসনের হারও তদনুপাতে বৃদ্ধি পায়। সুতরাং শ্বসনের হার অক্সিজেনের ঘনত্বের সহিত প্রত্যক্ষভাবে সমানুপাতিক।

সাধারণতঃ অক্সিজেনের কম ঘনত্বে অবাত ও সবাত শ্বসন উভয়ই সম্পাদিত হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে শ্বাসহার (RQ) সর্বদা একের বেশী। এই শ্বাসহার বৃদ্ধি পাইতে পাইতে অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে অসীম (infinity) পর্যন্ত পৌঁছায়। অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে (অবাত পরিবেশে) কার্বন ডাই অক্সাইডের নির্গমন সম্পূর্ণ অবাত শ্বসন বা ফারমেনটেশন উদ্ভূত। সুতরাং অক্সিজেনের ঘনত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে সবাত শ্বসন চলিতে থাকে এবং সেক্ষেত্রে

শ্বাসহার একক। অক্সিজেনের বিশেষ একটি ঘনত্বে যখন শ্বাসহার একক হয় তখন তাহাকে **লুপ্ত বিন্দু** (extinction point) বলা হয়। লুপ্ত বিন্দু অবস্থায় অবাত শ্বসন সম্পূর্ণ বন্ধ থাকে। 1953 খৃষ্টাব্দে জেমস (James) আপেল চারাগাছে বিভিন্ন অক্সিজেনের ঘনত্বে কার্বন ডাই অক্সাইড নির্গমনের হার নির্ণয় করেন। শ্বসনহারের উপর অক্সিজেনের প্রভাব নির্ণয় করিতে গিয়া অধিকাংশ বৈজ্ঞানিক সিদ্ধান্ত করিয়াছেন যে, অক্সিজেনের ঘনত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে শ্বসনও পরাবৃত্তীক (hyperbolic) হারে বৃদ্ধি পায়। কোন কোন উদ্ভিদে শ্বসনহার নির্দিষ্ট একটি সীমারেখা পর্যন্ত রৈখিকভাবে (linearly) বৃদ্ধি পাইয়া থাকে। এই ধরণের রৈখিক বৃদ্ধি টেলর (Taylor) 1942 খৃষ্টাব্দে ধানগাছে লক্ষ্য করেন।

পাস্তর ফল (Pasteur Effect) : উপরোক্ত প্রমাণাদি হইতে ইহা নিশ্চিত যে কোষে অক্সিজেন শূন্য (o) অবস্থায় শর্করার পরিমাণ হ্রাস এবং কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। অতঃপর অক্সিজেন প্রয়োগ করিলে শর্করার ব্যবহার কোষে কমিতে থাকে। লুই পাস্তর (L. Pasteur) সর্বপ্রথম ঈষ্ট নামক ছত্রাকে অক্সিজেন প্রয়োগে শর্করা ব্যবহারের বাধা প্রদান লক্ষ্য করেন। পাস্তরের এই ঘটনাকে **পাস্তর ফল** (Pasteur effect) বলা হয়। সুতরাং অক্সিজেনের উপস্থিতিতে শর্করার ক্ষয়প্রাপ্ত এবং ফারমেনটেশনের উৎপাদিত পদার্থকে সঞ্চিত হইতে বাধাপ্রদান করাকেই পাস্তর ফল বলা হয়।

পরবর্তীকালে পাস্তরের ফল ঈষ্ট ব্যতীত উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদেও পরিলক্ষিত হয়। মার্শ ও গডার্ড (Marsh and Goddard) 1932 খৃষ্টাব্দে গাজর মূলে, জেমস ও হোরা (James and Hora) 1940 খৃষ্টাব্দে বার্লি পাতায়, 1941 খৃষ্টাব্দে টেলর (Taylor) ধানগাছে এবং 1946 খৃষ্টাব্দে অ্যাপেলম্যান ও ব্রাউন (Appleman and Brown) আলুতে পাস্তরের এই ফল প্রমাণ করেন।

পাস্তর ফলের পূর্ণ ব্যাখ্যা জানা না গেলেও সাধারণভাবে তিনটি ব্যাখ্যা দেওয়া যাইতে পারে। প্রথমতঃ অক্সিজেন কতিপয় গ্লাইকোলাইসিস উৎসেচকের সক্রিয় সালফাহাইড্রিল (- SH) বর্গকে জারিত করিয়া ঐ সমস্ত উৎসেচককে ধ্বংস করে। দ্বিতীয়তঃ অক্সিজেনের উপস্থিতিতে ইলেক্ট্রন পরিবহণ দ্রুত গতিতে চলিতে থাকায় ADP এবং P_1 মিলিত হইয়া ATP সৃষ্টি হয় (অক্সিডেটিভ ফস্‌ফোরাইলেশন)। অক্সিজেনের উপস্থিতিতে

ADP ও P_1 ব্যবহৃত হওয়ায়, এই যৌগগুলি গ্লাইকোলাইসিসে নিয়ন্ত্রণকারী প্রভাব (limiting factor) রূপে কার্য করে। তৃতীয়তঃ ফ্রাক্টোজ 6-ফসফেট হইতে ফ্রাক্টোজ 1-6 ডাইফসফেট প্রস্তুতের জন্য প্রয়োজনীয় উৎসেচক ফসফোহেক্সোকাইনেজ সিট্রিক অ্যাসিড ও ATP দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হয়। অক্সিজেনের উপস্থিতিতে সিট্রিক অ্যাসিড ও ATP প্রস্তুত হওয়ায় ফস্‌ফোহেক্সোকাইনেজ উৎসেচকটির কার্যকারিতায় বাধাপ্রদান করে। সুতরাং উপরোক্ত তিনটি কারণেই অক্সিজেন শর্করা ব্যবহারের প্রতিবন্ধক রূপে কার্য করে।

পাস্তুর ফল আপেল প্রভৃতি ফল সংরক্ষণে বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করিয়া থাকে।

(2) **উষ্ণতা** (Temperature)ঃ বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ার ন্যায় শ্বসনের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলিও উষ্ণতা পরিবর্তনে সংবেদী (sensitive)। যেহেতু শ্বসনের বিক্রিয়াগুলি উৎসেচকের প্রভাবে প্রভাবান্বিত, সুতরাং উষ্ণতার পরিবর্তনে শ্বসন বিক্রিয়াও পরিবর্তনশীল। নির্দিষ্ট উষ্ণতার সীমা রেখায় উষ্ণতা বৃদ্ধি করিলে শ্বসন-হারও ক্রমশঃ বৃদ্ধি পায়। সাধারণতঃ $0° - 45°C$ উষ্ণতার মধ্যে শ্বসনের হার প্রত্যক্ষভাবে সামানুপাতিক। 45°C ও বেশী উষ্ণতায় উৎসেচকগুলি ধ্বংসপ্রাপ্ত হয় বলিয়া শ্বসন হার হ্রাস পায়।

শ্বসনের উপর উষ্ণতার প্রভাব আলোচনা করিবার সময় **"সময় প্রভাব"** (time factor) বিশেষ ভাবে লক্ষ্য রাখা প্রয়োজন। 30°C উষ্ণতার উর্দ্ধে উৎসেচকের গুণাবলী নষ্ট (denaturation) হয় এবং ইহা অবিলম্বে ঘটে না বলিয়া 30°C অধিক উষ্ণতায় প্রথম দিকে শ্বসনহার ত্বরান্বিত হয়। কিন্তু সময় প্রভাবে শ্বসন হার হ্রাস পাইতে থাকে। সাধারণভাবে উষ্ণতা যত অধিক হইবে, শ্বসন হার হ্রাসের সময় প্রভাবও তত কম হইবে। শ্বসন হারের উপর সময়ের প্রভাব বিস্তারিত তথ্য 1923 খৃষ্টাব্দে ফারনানডেস (Fernandes) মটর গাছের পরীক্ষা দ্বারা লিপিবদ্ধ করেন।

শ্বসনের সর্বাপেক্ষা অনুকূল উষ্ণতা (optimum temperature) 30°C বলিয়া বিবেচনা করা হয়।

(3) **কার্বন ডাই অক্সাইডের ঘনত্ব** (Concentration of Carbon dioxide)ঃ কার্বন ডাই অক্সাইডের ঘনত্ব শ্বসনেব উপর প্রত্যক্ষ প্রতিবন্ধক

রূপে কার্য করে। 1915 খৃষ্টাব্দে কিড (Kidd) নামক এক বৈজ্ঞানিক শ্বসনের উপর কার্বন ডাই অক্সাইডের ফল শ্বেত সরিষা বীজে বিস্তারিত আলোচনা করেন। হিথ (Heath) 1950 খৃষ্টাব্দে এর কারণ স্বরূপ উল্লেখ করেন যে, কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিমাণ বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে পত্ররন্ধ্রগুলি (stomata) বন্ধ হইয়া যায়। গ্যাসের আদান-প্রদান বন্ধ হওয়ার ফলে, শ্বসনের হারও কমিতে থাকে।

(4) **আলোক** (Light): ক্লোরোফিলবিহীন উদ্ভিদে আলোকের উপস্থিতিতে শ্বসনের হার বৃদ্ধি পাইলেও সবুজ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে আলোকের প্রভাব পরোক্ষ। সবুজ উদ্ভিদে আলোকের প্রভাব সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতির সহিত জড়িত (বিশদ বিবরণের জন্য সপ্তম অধ্যায়ের "আলোক-শ্বসন" অংশ দ্রষ্টব্য)।

(5) **আঘাত** (Injury): বারকার (Barker) 1935 খ্রীষ্টাব্দে আলুর স্ফীতকন্দে এবং 1939-41 খৃষ্টাব্দে অডাস (Audus) চেরী পাতায় যান্ত্রিক উদ্দীপনার সাহায্যে শ্বসন হারের বৃদ্ধি প্রমাণ করেন। সুতরাং যান্ত্রিক উদ্দীপনায় আঘাতপ্রাপ্ত কোষে শ্বসনের হার সাময়িকভাবে বৃদ্ধি পায়। আঘাত বা যান্ত্রিক উদ্দীপনার ফলে কোষে অধিক পরিমাণ শর্করা সঞ্চিত হওয়ায় শ্বসন হার বৃদ্ধি প্রাপ্ত হয়।

(6) **অজৈব লবণ** (Inorganic salts): 1933 খৃষ্টাব্দে লুণ্ডেগার্ড ও বার্স্ট্রোম (Lundegardh and Burstrom) একটি উদ্ভিদ বা কোষকে জল হইতে লবণ দ্রবণে রাখিয়া তাহার শ্বসন হার বৃদ্ধি লক্ষ্য করেন। অজৈব লবণগুলির মধ্যে NaCl, KCl, $CaCl_2$ $MgCl_2$ প্রভৃতি ধাতুর ক্লোরাইডগুলি বিশেষভাবে শ্বসন-হার বৃদ্ধিতে সহায়তা করে। অজৈব লবণের প্রভাবে শ্বসন হার বৃদ্ধিকে **"লবণ শ্বসন"** (Salt respiration) নামে খ্যাত।

(7) **রাসায়নিক যৌগ** (Chemical compounds): ক্লোরোফর্ম, ইথার, অ্যাসিটোন প্রভৃতি দ্রাবকের (solvent) লঘু দ্রবণ স্বল্পপ্রয়োগে উদ্ভিদে শ্বসন হার বৃদ্ধি পায়। অপরপক্ষে ইহাদের গাঢ় দ্রবণে শ্বসনের হার হ্রাস প্রাপ্ত হয়। উপরোক্ত রাসায়নিক যৌগগুলি কোষ পর্দার উপর সরাসরি কার্য করে। ইহাদের লঘু ঘনত্বে তাই কোষ পর্দার ভেদ্যতা (permeability) বৃদ্ধি

প্রাপ্তির সঙ্গে সঙ্গে শ্বসনের হারও বৃদ্ধি পায়। গাঢ় ঘনত্বে কোষ পর্দার গুণাবলী নষ্ট হওয়ায় শ্বসনের হার হ্রাসপ্রাপ্ত হয়।

অন্তস্থ প্রভাব ঃ

(1) **প্রোটোপ্লাসমীয় পরিবেশ** (Protoplasmic condition) ঃ পরিপক্ক কোষ অপেক্ষা প্রোটোপ্লাসমপূর্ণ তরুণ কোষের শ্বসন হার অপেক্ষাকৃত অনেক বেশী। শ্বসনে অংশ গ্রহণকারী মাইটোকনড্রিয়ার অভ্যন্তরস্থ উৎসেচকের পরিমাণ, প্রোটোপ্লাসমের জল-সিক্ত অবস্থা (hydration) প্রভৃতির উপর শ্বসনের হার নির্ভরশীল।

(2) **কোষমধ্যস্থ জলের পরিমাণ** (Water content of the cell) ঃ কোষমধ্যস্থ জল শ্বসনের হারকে বিশেষভাবে প্রভাবান্বিত করে। প্রোটোপ্লাসম উৎসেচককে কার্যকারী করিতে যথেষ্ট পরিমাণ জলের প্রয়োজন। শ্বসনের সাবস্ট্রেটকে দ্রবীভূত করিতেও জলের প্রয়োজন। তাই জল পরোক্ষ ভাবে শ্বসন হারের উপর নির্ভরশীল।

(3) **শ্বসনের সাবস্ট্রেট** (Rspiratory substrate) ঃ নির্দিষ্ট একটি সীমারেখা পর্যন্ত শ্বসন সাবস্ট্রেটের পরিমাণের উপর শ্বসন হার প্রত্যক্ষভাবে সামানুপাতিক। শ্বসনের সাবস্ট্রেট অধিক মাত্রায় সঞ্চিত হইলে বিপরীত প্রতিক্রিয়া পরিলক্ষিত হয়।

(4) **উৎসেচক** (Enzymes) ঃ শ্বসনের বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি উৎসেচকের উপর নির্ভরশীল। সুতরাং উৎসেচকের পরিমাণ এবং অবস্থার উপর শ্বসন হার বিশেষ নির্ভরশীল।

ষষ্ঠ অধ্যায়

স্নেহ পদার্থের বিপাক ও তাৎপর্য

(Lipid metabolism and significance)

জৈবিক জারণের (biological oxidation) অন্তবর্তী যৌগ হইতে চর্বি জাতীয় (fats) পদার্থের উদ্ভব হয়। উদ্ভিদে চর্বি ও তৈলজাতীয় পদার্থ* বীজে অধিক মাত্রায় সঞ্চিত থাকে। উদ্ভিদে শর্করা জাতীয় পদার্থের বিপাকের ফলে চর্বি জাতীয় পদার্থ প্রস্তুত হয়। চর্বির বিপাক নিম্নোক্ত তিনটি পর্যায়ে আলোচনা করা যায়।

ক. **গ্লিসারল সংশ্লেষ** (Synthesis of Glycerol) : উদ্ভিদে গ্লিসারল সংশ্লেষের বিশদ ব্যাখ্যা জানা না গেলেও প্রাণীদের ক্ষেত্রে গ্লিসারল সংশ্লেষ গ্লাইকোলাইসিসের অন্তর্বর্তী যৌগ ডাই হাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেটের মাধ্যমে সংঘটিত হয়। ডাই হাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট NADH দ্বারা বিজারিত হইয়া গ্লিসারল ফসফেট প্রস্তুত করে।

$$\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ C=O \\ | \\ CH_2OH_2PO_3 \end{array} + NADH + H^+ \rightleftharpoons \begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ HO\text{-}C\text{-}H \\ | \\ CH_2OH_2PO_3 \end{array} + NAD^+$$

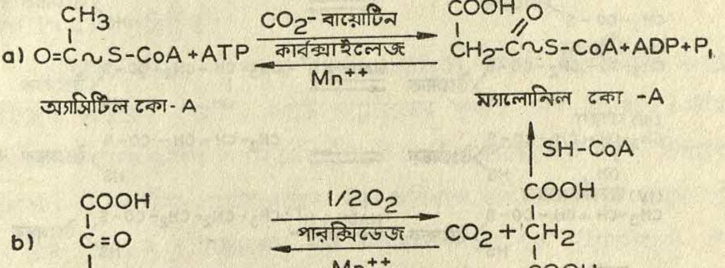
ডাই হাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট   গ্লিসারল ফসফেট

খ. **ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষ** (Fatty Acid Synthesis) : সমস্ত ফ্যাটি অ্যাসিডে যুগ্ম সংখ্যক কার্বন অণু থাকায় ইহা সম্ভাব্য যে, ফ্যাটি অ্যাসিড সমূহ 2-কার্বন বিশিষ্ট কোন যৌগ পুনরাবৃত্ত (repeated) হইয়া প্রস্তুত হয়। 2-কার্বন বিশিষ্ট অ্যাসিটেট অণুর দুইটি কার্বনই চিহ্নিত (^{14}C) করিলে, চিহ্নিত কার্বন দুইটি ফ্যাটি অ্যাসিড অণুতে নিবদ্ধ হয়। উপরোক্ত পরীক্ষা দ্বারা ইহা নিশ্চিত প্রমাণিত হয় যে, ফ্যাটি অ্যাসিডের উৎস হইল 2-কার্বন বিশিষ্ট অ্যাসিটেট। উদ্ভিদের ক্ষেত্রে এই অ্যাসিটেট মুক্ত অবস্থায় কোষে অণুপস্থিত।

* দ্বিতীয় অধ্যায়ে "স্নেহপদার্থ" দ্রষ্টব্য।

অ্যাসিটেটের সক্রিয় অবস্থা অর্থাৎ অ্যাসিটিল কো-A-ই ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষের উৎসরূপে কার্য করিয়া থাকে। অ্যাসিটিল কো-A শ্বসনের সময় কার্বোহাইড্রেট হইতে প্রস্তুত হয় (বিশদ বিবরণের জন্য পঞ্চম অধ্যায়ের "শ্বসন ও শক্তি" অংশ দ্রষ্টব্য)।

1957 খৃষ্টাব্দে ক্লাইন (Klein) এবং পরবর্তী পর্যায়ে স্টাম্ফ (Stumpf) প্রমাণ করেন যে, ঈষ্ট ও অন্যান্য উদ্ভিদে কার্বন ডাই অক্সাইড যদিও ফ্যাটি অ্যাসিডের সহিত মিলিত হয় না, তৎসত্ত্বেও ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষে কার্বন ডাই অক্সাইড উদ্দীপকের কার্য করে। প্রকৃতপক্ষে, কার্বন ডাই অক্সাইড ম্যালোনিল কো-A (malonyl Co-A) প্রস্তুত করিতে সাহায্য করে। উদ্ভিদের মৃত্তিকা উপরিস্থিত অংশে অ্যাসিটিল কো-A সক্রিয় কার্বন ডাই অক্সাইড সমন্বিত বায়োটিন (biotin) নামক সহ উৎসেচকের সহিত বিক্রিয়া ঘটাইয়া ম্যালোনিল কো-A প্রস্তুত করে। মৃত্তিকা অভ্যন্তরস্থ অর্থাৎ মূল অংশে অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড পারক্সিডেজ উৎসেচকের প্রভাবে কার্বন ডাই অক্সাইড ও ম্যালনিক অ্যাসিড প্রস্তুত হয়। ম্যালোনিক অ্যাসিড কোএনজাইম-A নামক সহ উৎসেচকের প্রভাবে ম্যালোনিল কো-A প্রস্তুত করে।

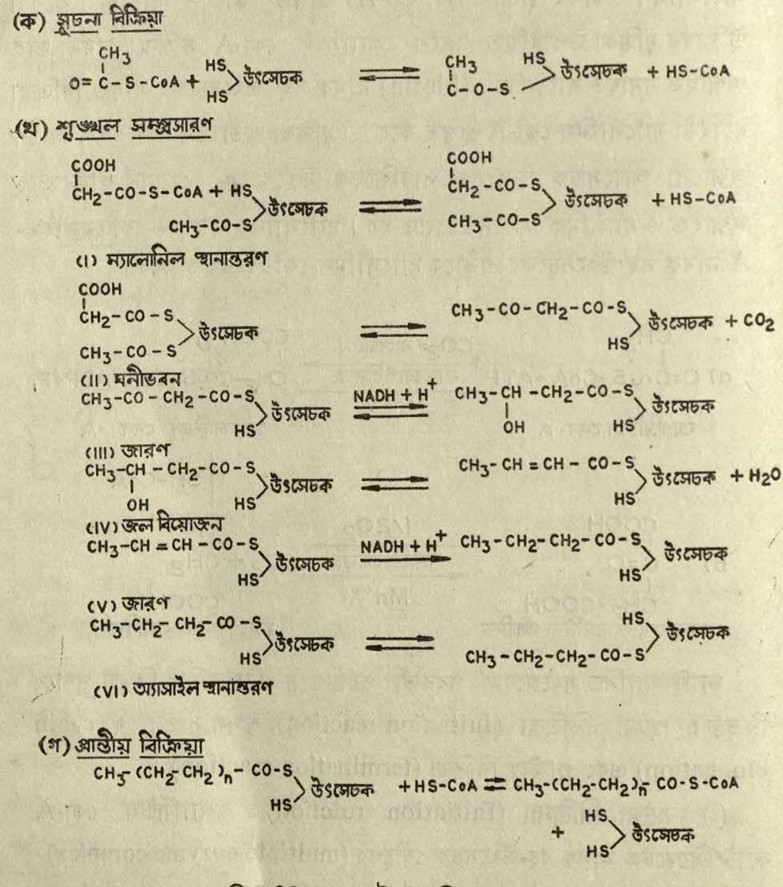


ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষের পরবর্তী পর্যায়গুলি নিম্নলিখিত তিনটি পর্যায়ে বিভক্ত: সূচনা বিক্রিয়া (initiation reaction), শৃঙ্খল সম্প্রসারণ (chain elongation) এবং প্রান্তীয় বিক্রিয়া (termination reaction)।

(i) **সূচনা বিক্রিয়া** (Initiation reaction): অ্যাসিটিল কো-A ফ্যাট সিন্থেটেজ নামক বহু-উৎসেচক যৌগের (multiple enzyme complex)-SH স্থানে অ্যাসিটিল বর্গটিকে স্থানান্তরিত করে (চিত্র-28)।

(ii) **শৃঙ্খল সম্প্রসারণ** (Chain elongation) : শৃঙ্খল সম্প্রসারণের প্রথম পর্যায়ে ম্যালোনিল কো-Aর ম্যালোনিল বর্গের স্থানান্তরণ ঘটে। ম্যালোনিল বর্গটি বহু উৎসেচক যৌগের SH-বর্গে স্থানান্তরিত হয়।

ইহার পর ঘনীভবন (condensation) পর্যায়ে অ্যাসিটিল বর্গটি ম্যালোনিল অংশে যুক্ত হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে কার্বাক্সিলহরণ (decarboxylation) দ্বারা ম্যালোনিল বর্গের কার্বোক্সিল অংশ হইতে কার্বন ডাই অক্সাইড মুক্ত হয়। ঘনীভবন পর্যায়ে যৌগটি 4-কার্বন বিশিষ্ট একটি একক হয়। এই এককটি জারণ, জল বিয়োজন ও পুনরায় জারণ প্রক্রিয়া দ্বারা সম্পৃক্ত



চিত্র 28 : ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষ

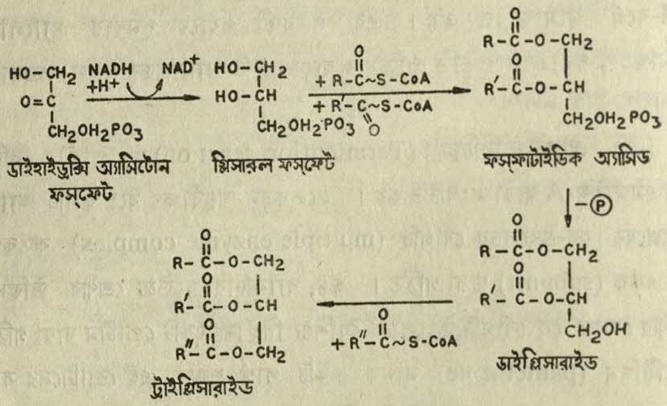
(saturated) ফ্যাটি অ্যাসিডের যৌগ প্রস্তুত হয়। অধিকাংশ ফ্যাটি অ্যাসিড 16 বা 18-কার্বন বিশিষ্ট হওয়ায় উপরোক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের অ্যাসাইল স্থানান্তরণ প্রয়োজন। সূচনা বিক্রিয়ার ন্যায় ফ্যাটি অ্যাসিডের অধিকাংশ SH-বর্গে স্থানান্তরিত হয়। এর পরবর্তী পর্যায়ে পুনরায় ম্যালোনিল স্থানান্তরণ, ঘনীভবন প্রভৃতি প্রক্রিয়ার দ্বারা ফ্যাটি অ্যাসিডের শৃঙ্খল সম্প্রসারিত হয়।

(iii) **প্রান্তীয় বিক্রিয়া** (Termination reaction) : প্রান্তীয় বিক্রিয়া কোএনজাইম-A দ্বারা সংঘটিত হয়। ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষের বহু-উৎসেচক যৌগটি (multiple enzyme complex) কতকগুলি উপএকক (subunit) দ্বারা গঠিত। ঈষ্ট, ব্যাক্‌টিরিয়া, উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদ ও প্রাণীর ক্ষেত্রে এই যৌগটি উৎসেচক বৈশিষ্ট্য বিহীন একটি প্রোটীন দ্বারা গঠিত। প্যান্টিথিন (pantetheine) নামক একটি পার্শ্ব শৃঙ্খল এই প্রোটীনের সহিত ফসফেট দ্বারা যুক্ত। ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষকালে অ্যাসাইল অবশিষ্টাংশ প্যান্টিথিনের SH-বর্গে যুক্ত হয়। উৎসেচকের বিভিন্ন যৌগে উপরোক্ত অংশটুকু (বাহুটি) স্থানান্তরিত হয়। বহু উৎসেচক যৌগের মধ্যস্থিত এই প্যান্টিথিন 'বাহু'টিকে অ্যাসাইল প্রোটীন বাহক (acyl carrier protein বা ACP) নামে পরিচিত।

উদ্ভিদের ক্ষেত্রে অসম্পৃক্ত (unsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষ বিশেষ বিতর্কের বিষয়। ফ্যাটি অ্যাসিডের শৃঙ্খল দৈর্ঘ্য 10 বা 12-কার্বন বিশিষ্ট অবস্থায় ওলিক অ্যাসিডের (oleic acid) দ্বিবন্ধের সৃষ্টি হয়। স্টিয়ারিক (stearic) অ্যাসিড হাইড্রোজেন মুক্ত করিয়াও ওলিক অ্যাসিড প্রস্তুত হয়। ওলিক অ্যাসিড হাইড্রোজেন মুক্ত করিয়া লিনোলিক (linoleic) এবং লিনোলেনিক (linolenic) অ্যাসিড প্রভৃতি অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের সৃষ্টি হয়।

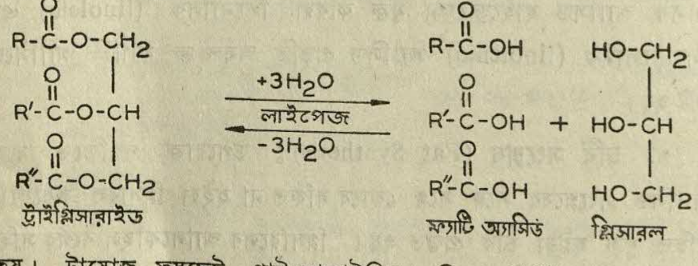
গ. **চর্বি সংশ্লেষ** (Fat Synthesis) : উপরোক্ত পদ্ধতিতে ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষের সঙ্গে সঙ্গে কোষে সঞ্চিত না হইয়া গ্লিসারল ফসফেটের সহিত যুক্ত হইয়া চর্বি প্রস্তুত হয়। গ্লিসারলের অ্যালকোহল বর্গের সহিত ফ্যাটি অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গ যুক্ত হইয়া এস্টার (esters) প্রস্তুত করে। এই এস্টার প্রস্তুত কালে ফ্যাটি অ্যাসিডের উৎসেচক (ACP) অথবা

কোএনজাইম-A মুক্ত হয়। গ্লিসারলের সহিত দুইটি ফ্যাটি অ্যাসিড যুক্ত হইয়া ডাইগ্লিসারাইড (diglyceride) এবং তিনটি ফ্যাটি অ্যাসিড যুক্ত হইয়া ট্রাই-গ্লিসারাইড (triglyceride) প্রস্তুত হয় চিত্র-29।



চিত্র-29 : প্রাকৃতিক চর্বির সংশ্লেষ

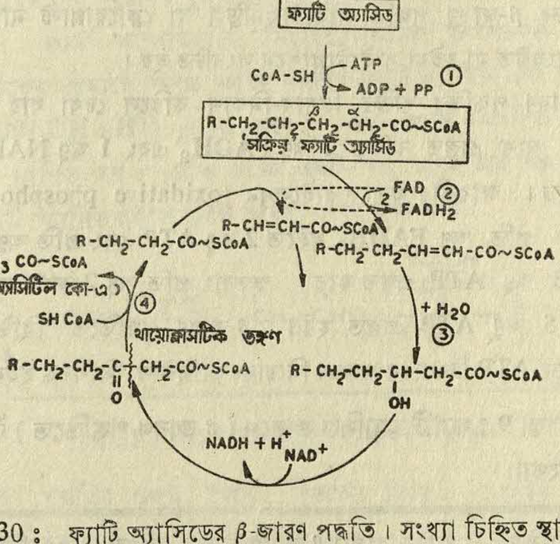
চর্বির জারণ (Oxidation of Fats) : উদ্ভিদের ক্ষেত্রে চর্বি সংশ্লেষিত হইয়া সাধারণতঃ বীজে সঞ্চিত হইয়া থাকে। লাইপেজ (lipase) নামক উৎ-সেচকের প্রভাবে চর্বি বিশ্লিষ্ট (degraded) হইয়া ফ্যাটি অ্যাসিড ও গ্লিসারলে পরিণত হয়। চর্বির জৈবিক জারণ (biological oxidation) দ্বারা উদ্ভিদ কোষে ATP প্রস্তুত করিয়া থাকে। গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে ফ্যাটি অ্যাসিড যৌগ হইতে হেক্সোজ সংশ্লেষিত হইয়া থাকে। গ্লিসারল, সংশ্লেষের বিপরীত বিক্রিয়ায় বিশ্লিষ্ট হইয়া ট্রায়োজ ফসফেট পরিণত



হয়। ট্রায়োজ ফসফেট গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ায় বিশ্লিষ্ট অথবা হেক্সোজ সংশ্লেষণে সহায়তা করে।

কোষে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড β- অথবা ৎ-জারণ প্রক্রিয়া দ্বারা জারিত হয়। ফ্যাটি অ্যাসিডের β-অথবা ৎ-কার্বন অণু স্থানে জারিত হয় বলিয়া এই জারণ ক্রিয়াকে β-জারণ অথবা ৎ-জারণ প্রক্রিয়া বলা হয়।

(i) **β-জারণ** (β-Oxidation)ঃ লাইপেজের প্রভাবে উৎপাদিত ফ্যাটি অ্যাসিড জারিত হইয়া কার্বন ডাই অক্সাইড ও জল প্রস্তুত করে। এই জারণের ফলে শক্তি সম্পন্ন ATP ও NADH প্রস্তুত হয়। চর্বি জাতীয় বীজের অঙ্কুরোদগমনের সময় যে শক্তির প্রয়োজন তাহা চর্বি জারণের ফলে উৎপাদিত হয়। β-জারণ পদ্ধতি 1904 খৃষ্টাব্দে ক্নুপ (Knop) কর্তৃক প্রস্তাবিত "β-জারণবাদের" উন্নত মতবাদ। β-জারণ পদ্ধতির মূল বক্তব্য 1950 খৃষ্টাব্দে বৈজ্ঞানিকদের বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত।



চিত্র-30ঃ ফ্যাটি অ্যাসিডের β-জারণ পদ্ধতি। সংখ্যা চিহ্নিত স্থানগুলিতে নিম্নলিখিত উৎসেচকগুলি সক্রিয় অংশ গ্রহণ করেঃ 1. অ্যাসিড থায়োকাইনেজ; 2. β-হাইড্রক্সি অ্যাসাইল ডিহাইড্রোজিনেজ; 3. ইনোয়েল হাইড্রেজ; 4. β-কিটো অ্যাসাইল থায়োলেজ।

β-জারণ পদ্ধতির প্রথম পর্যায়ে ফ্যাটি অ্যাসিড কোএনজাইম-A এবং ATP দ্বারা বিক্রিয়া ঘটাইয়া 'সক্রিয় ফ্যাটি অ্যাসিড' প্রস্তুত করে। এর

পরবর্তী পর্যায়ে α-এবং β-কার্বন স্থানের হাইড্রোজেন দুইটি ফ্ল্যাভিন সহউৎসেচক দ্বারা মুক্ত হইয়া জারিত হয়। অতঃপর ইনোয়েল হাইড্রেজ উৎসেচক ও জলের উপস্থিতিতে β-স্থানের OH বর্গ যুক্ত হয়। ইলেক্ট্রন বাহক NAD^+ পরবর্তী পর্যায়ে হাইড্রোজেন গ্রহণ করিয়া কিটো বর্গ প্রস্তুত করে। অসম্পূর্ণ জারিত ফ্যাটি অ্যাসিডের β-অক্সো বর্গটি কোএনজাইম-A র সহিত যুক্ত করিয়া অ্যাসিটিল কো-A প্রস্তুত করে। ফ্যাটি অ্যাসিডের হ্রস্বতর অণু পুনরায় চক্রাকারে জারিত হইয়া 2-কার্বন বিশিষ্ট অ্যাসিটিল কো-A প্রস্তুত করে। এইরূপে দীর্ঘ শৃঙ্খল ফ্যাটি অ্যাসিড ক্রমাগত জারিত হইয়া 2-কার্বন বিশিষ্ট অ্যাসিটিল কো-A প্রস্তুত করে। ফ্যাটি অ্যাসিডের ভাঙ্গন পদ্ধতিটি চিত্র-30এ নির্দেশিত হইল।

ইহা পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত যে, চিনাবাদাম ও রেড়ি বীজে ফ্যাটি অ্যাসিডের β-জারণ পদ্ধতি মাইটোকন্ড্রিয়া বা ক্লোরোপ্লাস্ট নামক কোষস্থ বস্তুতে সংঘটিত না হইয়া সাইটোপ্লাসমে সংঘটিত হয়।

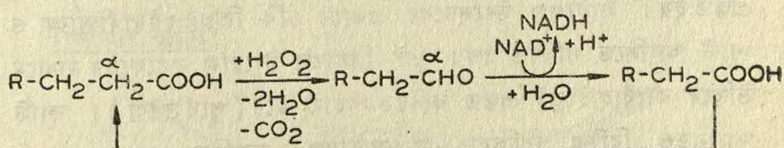
β-জারণ পদ্ধতির শক্তির হিসাব-নিকাশ করিলে দেখা যায় যে, প্রতি 2-কার্বন অংশ প্রস্তুত করিতে 1 অণু $FADH_2$ এবং 1 অণু $NADH+H^+$ প্রস্তুত হয়। জারকীয় ফসফোরাইলেশন (oxidative phosphorylation) পদ্ধতিতে প্রতি অণু $FADH_2$ হইতে 2 অণু ATP এবং প্রতি অণু NADH হইতে 3 অণু ATP প্রস্তুত করে। সুতরাং প্রতি অণু 2-কার্বন অংশ প্রস্তুত করিতে 5 অণু ATP প্রস্তুত হয়। β-জারণ পদ্ধতিতে বিভিন্ন ফ্যাটি অ্যাসিডের ATP উৎপাদন ক্ষমতা নিম্নোক্ত তালিকায় লিপিবদ্ধ হইল ;

তালিকা 9 : ফ্যাটি অ্যাসিড জারণে (β-জারণ পদ্ধতিতে) উৎপাদিত ATP সংখ্যা

ফ্যাটি অ্যাসিড	কার্বন সংখ্যা	β-জারণ চক্রের সংখ্যা	উৎপাদিত ATP
পামিটিক অ্যাসিড	16 C	7	35
স্টিয়ারিক অ্যাসিড	18 C	8	40
ওলিক অ্যাসিড	18 C	8	40
লাইনোলিক অ্যাসিড	18 C	8	40
লাইনোলেনিক অ্যাসিড	18 C	8	40

আপাতঃ দৃষ্টিতে β-জারণ পদ্ধতি ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষের বিপরীত প্রক্রিয়া বলিয়া মনে হয়। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তা নহে; প্রথমতঃ β-জারণে ম্যালোনিল কো-A অংশ গ্রহণ করে না। দ্বিতীয়তঃ β-জারণে থায়োক্লাসটিক ভঙ্গণ ঘনীভবন পদ্ধতির বিপরীত প্রক্রিয়া নয়। তৃতীয়তঃ β-জারণে NAD^+ হাইড্রোজেন বাহকের কার্য করে, কিন্তু সংশ্লেষের সময় $NADP^+$ হাইড্রোজেন বাহক রূপে ব্যবহৃত হয়।

(ii) **∝-জারণ** (∝-Oxidation) : উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদে ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণ ∝-জারণ পদ্ধতির দ্বারা সংঘটিত হয়। এই পদ্ধতিতে ফ্যাটি অ্যাসিড ∝-কার্বন স্থানে জারিত হয় এবং পদ্ধতিটি সাধারণ ভাবে প্রাণীর ক্ষেত্রে অনুপস্থিত। ∝-জারণ পদ্ধতি দুইটি পর্যায়ে সংঘটিত হয়। প্রথম পর্যায়ে ফ্যাটি অ্যাসিড পারক্সিডেজ উৎসেচকের প্রভাবে অ্যালডিহাইডে রূপান্তরিত হয় এবং কার্বন ডাই অক্সাইড মুক্ত করিয়া ফ্যাটি অ্যাসিড হইতে একটি কার্বন মুক্ত করে। ফ্যাটি অ্যালডিহাইড ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকটি NAD^+ সহ উৎসেচকের প্রভাবে অযুগ্ম কার্বন সমন্বিত ফ্যাটি অ্যাসিড এবং বিজারিত NAD^+ ($NADH+H^+$) প্রস্তুত করে। এই ফ্যাটি অ্যাসিড পুনরায় চক্রাকারে জারিত হয়। প্রতি চক্রে একটি অণু কার্বন ডাই অক্সাইড মুক্ত করিয়া ফ্যাটি অ্যাসিড হইতে একটি করিয়া কার্বন হ্রাস পায়।



চিত্র-31 : ফ্যাটি অ্যাসিডের ∝-জারণ পদ্ধতি

∝-জারণ পদ্ধতির গুরুত্ব বিশেষ বিতর্কের বিষয়। β-জারণ অপেক্ষা ∝-জারণ পদ্ধতিতে শক্তি উৎপাদন অপেক্ষাকৃত স্বল্প। প্রতি কার্বন মুক্ত করিতে ∝-জারণ পদ্ধতিতে এক অণু NADH অর্থাৎ 3 অণু ATP প্রস্তুত হয়। ∝-জারণ পদ্ধতিতে কোন অ্যাসিটিল কোএনজাইম-A প্রস্তুত না হওয়ায় ক্রেবস্ চক্রের মাধ্যমে ATP প্রস্তুত হইবারও কোন সম্ভাবনা থাকে না। 18-কার্বন বিশিষ্ট দীর্ঘ শৃঙ্খল ফ্যাটি অ্যাসিড ∝-জারণ প্রক্রিয়ায় জারিত হওয়ার পর β-জারণ পদ্ধতিতে জারিত হইয়া প্রোপায়োনিক অ্যাসিড (propionic

acid) প্রস্তুত হয়। রেড়ি, সরিষা প্রভৃতি চর্বি জাতীয় বীজে β-জারণ পদ্ধতি সম্পূর্ণ অনুপস্থিত।

$$CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$$

α-জারণ ↓ $-5CO_2$

$$CH_3-(CH_2)_{11}-COOH$$

β-জারণ ↓ -5 অ্যাসিটিল কো-A

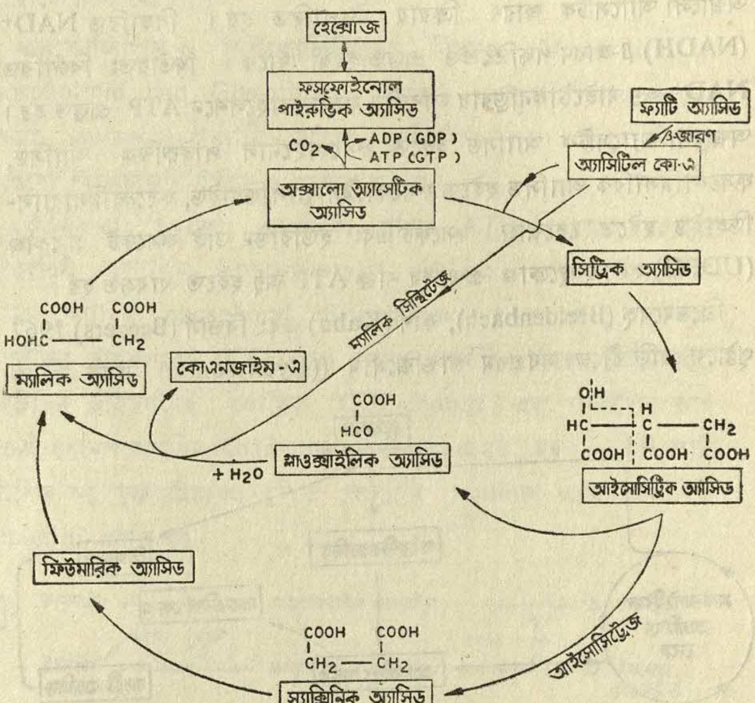
$$CH_3-CH_2-COOH$$

(প্রোপায়োনিক অ্যাসিড)

গ্লাওক্সাইলিক অ্যাসিড চক্র (Glyoxylic Acid Cycle) ঃ রেড়ি, সরিষা প্রভৃতি উদ্ভিদের বীজে অধিকমাত্রায় চর্বি সঞ্চিত থাকে। অঙ্কুরোদ্গমনের সময় এই সঞ্চিত চর্বি ব্যবহার করিয়া শক্তি উৎপাদন করে (পূর্বে দ্রষ্টব্য)। উদ্ভিদ বৃদ্ধির জন্য শুধুমাত্র শক্তিই একান্ত কাম্য নয়। সুষ্ঠ বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজন বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রক এবং নানাবিধ জৈব যৌগের। উদ্ভিদের অত্যাবশ্যক বিপাকীয় কার্যে এই জৈব যৌগগুলি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। সুতরাং শক্তি উৎপাদন ব্যতীত এই সমস্ত চর্বি-জাতীয় উদ্ভিদে কার্বোহাইড্রেট প্রস্তুত করিয়া থাকে। এই কার্বোহাইড্রেট হইতেই বিভিন্ন জৈব যৌগগুলি প্রস্তুত হয়। লাইপেজ উৎসেচকের প্রভাবে চর্বি বিশ্লিষ্ট হইয়া গ্লিসারল ও ফ্যাটি অ্যাসিডে পরিণত হয়। এই গ্লিসারল ট্রায়োজ ফসফেটের মাধ্যমে উদ্ভিদে কার্বোহাইড্রেট প্রস্তুত করিতে সাহায্য করে (পূর্বে দ্রষ্টব্য)। ফ্যাটি অ্যাসিডও বিভিন্ন বিক্রিয়ায় গ্লাওক্সাইলিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেট প্রস্তুত করে।

গ্লাওক্সাইলিক চক্রকে ক্রেবস্ চক্রের ভিন্নরূপ (variant) হিসাবে পরিগণিত করা যায়। আইসোসিট্রিক অ্যাসিড আইসোসিট্রিক লায়েজ (বা আইসোসিট্রেজ) নামক উৎসেচকের প্রভাবে সাক্সিনিক অ্যাসিড ও গ্লাওক্সাইলিক অ্যাসিডে রূপান্তরিত হয়। সিউডোমনাস *(Pseudomonas)* নামক ব্যাক্টিরিয়া ও জীবাণুর ক্ষেত্রে গ্লাওক্সাইলিক অ্যাসিড প্রস্তুতি 1957 খৃষ্টাব্দে কর্ণবার্গ (Kornberg) এবং ক্রেবস্ (Krebs) বিশদ আলোচনা করিলেও 1961 খৃষ্টাব্দে বিভার্স (Beevers) সর্বপ্রথম অঙ্কুরিত বীজে গ্লাওক্সাইলিক অ্যাসিড চক্রের ইঙ্গিত করেন।

সাক্সিনিক অ্যাসিড ক্রেবস্ চক্রের মাধ্যমে ফিউমারিক, ম্যালিক ও অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিড প্রস্তুত করে। গ্লাওক্সাইলিক অ্যাসিড ফ্যাটি অ্যাসিডের β-জারণ প্রক্রিয়ায় উৎপাদিত অ্যাসিটিল কো-A সহিত যুক্ত হইয়া ম্যালেট সিন্থেটেজ উৎসেচকের প্রভাবে ম্যালিক অ্যাসিড প্রস্তুত

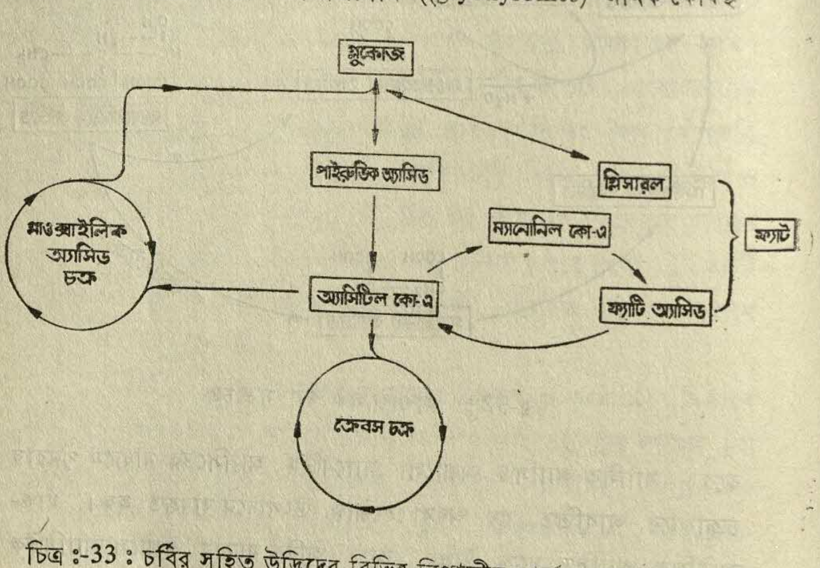


চিত্র-32 ঃ গ্লাওক্সিলিক অ্যাসিড চক্র

করে। ম্যালিক অ্যাসিড অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিডের মাধ্যমে পুনরায় চক্রাকারে আবর্তিত হয় অথবা হেক্সোজ উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়। গ্লাও-ক্সাইলিক অ্যাসিড চক্রে উদ্ভিদ কোষে অধিক মাত্রায় অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিড প্রস্তুত হয়। আংশিক অক্সালোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড অ্যাসিটিল কো-Aর সহিত যুক্ত হইয়া সিট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুত করিয়া গ্লাওক্সাইলিক অ্যাসিড চক্রের সূচনা করে। অবশিষ্ট অক্সালোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড ফস্‌ফেট যুক্ত ও

কার্বন ডাই অক্সাইড মুক্ত করিয়া ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড প্রস্তুত করে (চিত্র-32)। ফস্‌ফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড ট্রায়োজ ফসফেটের মাধ্যমে গ্লাইকোলাইসিসের বিপরীত প্রক্রিয়ায় হেক্সোজ প্রস্তুত করে। এই প্রক্রিয়ায় ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড (PGA) হইতে ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড (PGAld রূপান্তরের প্রয়োজনীয় NADH গ্লাওক্সাইলিক অ্যাসিড চক্রে ম্যালিক-অক্সালো অ্যাসেটিক জারণ ক্রিয়ায় উৎপাদিত হয়। বিজারিত NAD^+ (NADH) β-জারণ পদ্ধতিতেও প্রস্তুত হইয়া থাকে। দ্বিতীয়তঃ বিজারিত NAD^+ অণু মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় জারকীয় ফসফোরাইলেশনে ATP প্রস্তুত হয়। অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড হইতে ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড, ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড হইতে ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড, ফসফোগ্লিসার‍্যাল-ডিহাইড হইতে হেক্সোজ ফসফেট এবং ইউরিডিন ডাই ফসফেট গ্লুকোজ (UDPG) হইতে সুক্রোজ প্রস্তুতির শক্তি ATP অণু হইতে ব্যবহৃত হয়।

ব্রিডেনবেক্ (Breidenbach), কাণ (Kahn) এবং বিভার্স (Beevers) 1967 খৃষ্টাব্দে রেড়ি বীজে সর্বপ্রথম গ্লাওক্সিসোম ((glyoxysomes) নামক কোষস্থ



চিত্র :-33 : চর্বির সহিত উদ্ভিদের বিভিন্ন বিপাকীয় কার্যের আন্তসম্পর্ক

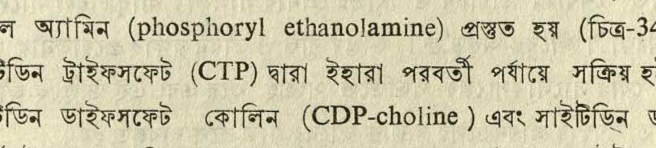
অঙ্গ আবিষ্কার করেন। 1970 খৃষ্টাব্দে লঙ্গো (Longo) এবং লঙ্গো (Longo) ভূট্টা স্কুটেলামেও অঙ্কুরোদগমনের চতুর্থ দিনে অনুরূপ অঙ্গ আবিষ্কার করেন।

বিভার্স (Beevers) এবং সহকর্মীবৃন্দ ঐ কোষস্থ অঙ্গে আইসোসিট্রেট লায়েজ ও ম্যালেট সিন্থেটেজ উভয় উৎসেচকের উপস্থিতি লক্ষ্য করেন। উদ্ভিদের এই বিশেষ কোষস্থ অঙ্গে গ্লাওক্সাইলিক অ্যাসিড চক্র সম্পাদিত হইয়া থাকে।

চর্বির সহিত উদ্ভিদের বিভিন্ন বিপাকীয় কার্যের সম্পর্ক চিত্র-33 সহযোগে বোঝানো হইল।

ফস্‌ফোলিপিড ও গ্লাইকোলিপিডের বিপাক (Metabolism of Phospholipid and Glycolipid) : উদ্ভিদে ফস্‌ফোলিপিডের সংশ্লেষ স্পিনাচ্ (spinach) ইত্যাদি উদ্ভিদে পরিলক্ষিত হয়। ফস্‌ফোলিপিড সংশ্লেষের বিক্রিয়াগুলি উদ্ভিদ ও প্রাণীতে অভিন্ন।

কোলিন বা ইথানল অ্যামিনের সহিত ATP বিক্রিয়া ঘটাইয়া ফস্‌কোরিল কোলিন (phosphoryl choline) এবং ফস্‌ফোরিল ইথানল অ্যামিন (phosphoryl ethanolamine) প্রস্তুত হয় (চিত্র-34)। সাইটিডিন ট্রাইফসফেট (CTP) দ্বারা ইহারা পরবর্তী পর্যায়ে সক্রিয় হইয়া সাইটিডিন ডাইফসফেট কোলিন (CDP-choline) এবং সাইটিডিন ডাই ফসফেট ইথানল অ্যামিন (CDP-ethanolamine) প্রস্তুত হয়। দুইটি ফ্যাটি অ্যাসিড অণু যুক্ত গ্লিসারল হইতে লেসিথিন (lecithin) এবং কেফালিন (cephalin) প্রস্তুত হয়।



চিত্র-34 : ফস্‌ফোলিপিডের সংশ্লেষ

ফসফোলিপিডের বিশ্লেষণ বা গ্লাইকোলিপিডের সংশ্লেষ ও বিশ্লেষণের কোন নিশ্চিত পদ্ধতি আজ পর্যন্ত বৈজ্ঞানিকদের নিকট অজ্ঞাত।

সপ্তম অধ্যায়

সালোকসংশ্লেষ

(Photosynthesis)

জীবমণ্ডলের (biosphere) সমস্ত জীবন কার্বন আত্তীকরণ দ্বারা সৃষ্ট জৈব যৌগের উপর নির্ভরশীল। এই অন্তর্লীন (endergonic) পদ্ধতির প্রয়োজনীয় শক্তির উৎস আলোক। আলোক কণার শক্তি রাসায়নিক শক্তিতে পরিবর্তন করার জটিল বিক্রিয়াকেই **সালোকসংশ্লেষ** বলা হয়। উদ্ভেদকেই সাধারণভাবে সালোকসংশ্লেকারী জীব বলা যায়। সমস্ত উচ্চশ্রেণীর জীব ব্যতীত শৈবাল, ডায়াটম ও বিভিন্ন শ্রেণীর সালফার ব্যাকৃটিরিয়া সালোক-সংশ্লেষকারী জীবের অন্তর্ভূক্ত। উদ্ভিদ বৃদ্ধি ও জীবন রক্ষার প্রয়োজনীয় সমস্ত জৈব যৌগ সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিতে সংগ্রহ করে এবং এই উদ্ভিদই জীবিত বা মৃত অবস্থায় জীবমণ্ডলের অন্যান্য জীবের খাদ্য রূপে ব্যবহৃত হয়।

এককথায় সালোকসংশ্লেষের গুরুত্ব মানুষের জ্ঞানাতীত। জীবকে জারণ, ভাঙ্গন ও অণুঘটন পদ্ধতি দ্বারা শক্তি সংগ্রহ করিয়া জীবন ধারণ করিতে হয়। সুতরাং এর জন্য প্রয়োজন জারক পরিবেশ (oxidising environment)। এই পরিবেশে সমস্ত কার্বন যৌগ সর্বাধিক জারিত অবস্থায় (অর্থাৎ কার্বন ডাই অক্সাইড) পরিবর্তিত হয়। বায়ুমণ্ডলের কার্বন ডাই অক্সাইডকে বিভিন্ন জৈব যৌগে বিজারণ এবং অক্সিজেন উৎপাদন দ্বারা সালোকসংশ্লেষ বায়ুমণ্ডলে এই গ্যাসের সমতা রক্ষা করে।

জীবমণ্ডলের অপচিতি ও উপচিতি ক্রিয়ার ফলে কিছু শক্তি তাপরূপে ছড়াইয়া পড়ে। ফলে জীবমণ্ডলে এনট্রপি (entropy) বৃদ্ধি পায়। তাই পৃথিবীতে জীবন রক্ষার জন্য প্রয়োজন সৌরশক্তির এবং সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিতে তাহাদের ব্যবহার।

পৃথিবীতে জীবের অগ্রগামী (precursor) হিসাবে অক্সিজেনবিহীন পরিবেশে বসবাসকারী প্রোটোবায়ন্টস্ (Protobionts) উল্লেখযোগ্য। অতঃপর বায়ুমণ্ডলে অক্সিজেন ত্যাগ করিয়া সমস্ত জীবের অভিব্যক্তি ঘটিয়াছে। বর্তমানের ব্যাকৃটিরিয়াঘটিত সালোকসংশ্লেষের (bacterial photosynthesis)

প্রাথমিক অবস্থাভূত প্রোক্যারিওটিক কোষই পৃথিবীর প্রথম সালোকসংশ্লেষকারী জীবরূপে গণ্য। এর পরবর্তী পর্যায়ে উদ্ভব ঘটিয়াছে নীল-সবুজ শৈবালের এবং অভিব্যক্তির সর্বশেষ স্তরে উন্নত হইয়াছে ইউক্যারিওটিক জীবের।

জীবন যন্ত্রের গঠনে জীব আলোকের ফোটন (photon) কণা অধিগ্রহণ ও ব্যবহার করার কৌশল শিক্ষালাভ করিয়াছে। **যে কৌশলে আলোকের ফোটন কণা গ্রহণ করিয়া আলোকশক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে তাহাকে সালোকসংশ্লেষ (Photosynthesis) বলা হয়।**

জল ও কার্বন ডাই অক্সাইড সালোকসংশ্লেষের প্রধান কাঁচামাল। ক্লোরোফিল সূর্যের সৌর শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে পরিণত করে এবং ঐ শক্তি কার্বোহাইড্রট জাতীয় জৈব যৌগে স্থিতি শক্তিরূপে সঞ্চিত করে। ক্লোরোফিল এই প্রক্রিয়ায় কেবলমাত্র অনুঘটকের ভূমিকা গ্রহণ করে এবং বিক্রিয়ান্তে উহার প্রকৃতির কোন পরিবর্তন ঘটে না। প্রাকৃতিক অবস্থায় সূর্যের আলোকই সালোকসংশ্লেষের প্রধান আলোকের উৎস। সূর্যালোক ব্যতীত কৃত্রিম দৃশ্যমান আলোকেও এই প্রক্রিয়া সম্পন্ন হইতে পারে। সালোকসংশ্লেষের সামগ্রিক প্রতিক্রিয়াকে নিম্নলিখিত সমীকরণের মাধ্যমে প্রকাশ করা যাইতে পারে।

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{আলোক}]{\text{ক্লোরোপ্লাস্ট}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \uparrow + 6H_2O$$

অর্থাৎ সালোকসংশ্লেষে 6 অণু কার্বন ডাই অক্সাইড 12 অণু জলের সহিত জটিল রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে এক অণু হেক্সোজ প্রস্তুত করে। এই রাসায়নিক বিক্রিয়ার জন্য প্রয়োজন সৌরশক্তির। এই সৌরশক্তি স্থিতি শক্তি রূপে শর্করা জাতীয় খাদ্যে নিহিত থাকে।

সালোকসংশ্লেষের প্রাচীন মতবাদ (Early idea regarding photosynthesis)**:** সপ্তদশ শতাব্দীতে ভ্যান হেলমন্ট (Van Helmont, 1577-1644) সর্বপ্রথম উদ্ভিদ পুষ্টির নানাবিধ পরীক্ষা করেন। তাঁর বিখ্যাত উইলো গাছের পরীক্ষাদ্বারা তিনি প্রমাণ করেন যে, উদ্ভিদেরা মাটি হইতে খাদ্য গ্রহণ করে না। তাঁর এই সিদ্ধান্ত যদিও সম্পূর্ণ সত্য নয় তবুও সালোকসংশ্লেষের

প্রথম সম্মান তাঁরই প্রাপ্য। এরপর 1727 খৃষ্টাব্দে স্টিফেন হেল্‌স (Stephen Hales) প্রমাণ করেন যে উদ্ভিদ তাদের খাদ্য আলোকের সহায়তায় বায়ুমণ্ডল হইতে গ্রহণ করে। বায়ুমণ্ডলের অক্সিজেনের জৈবিক প্রয়োজনীয়তা (biological importance) এবং সবুজ উদ্ভিদ কর্তৃক ঐ অক্সিজেন পুনরায় বায়ুমণ্ডলে পূরণ করার কথা জোসেফ প্রিস্টলে (Joseph Priestley) 1772 খৃষ্টাব্দে পরীক্ষা দ্বারা বিশদভাবে প্রমাণ করেন। সবুজ উদ্ভিদ আলোকের উপস্থিতিতে অক্সিজেন প্রস্তুত করিবার তথ্যটি 1779 খৃষ্টাব্দে ইঙ্গেন হাইজ (Ingen-Housz) নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করেন। বায়ুমণ্ডলের কার্বন ডাই অক্সাইড ও মাটি হইতে শোষিত জলের সংমিশ্রণে আলোকের উপস্থিতিতে সবুজ কোষে খাদ্য প্রস্তুত করিবার প্রণালী 1804 খৃষ্টাব্দে নিকোলাস-ড্য-স্যসার (Nicholas-de-Saussure) উল্লেখ করেন। অতঃপর 1845 খৃষ্টাব্দে জুলিয়াস রবার্ট মায়ার (Julius Robert Mayer) সৌরশক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করিয়া জৈব যৌগে সঞ্চিত করিবার তথ্যটি উল্লখ করেন।

ঊনবিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগে সালোকসংশ্লেষের তিনটি প্রধান উপাদান—কার্বন-ডাই-অক্সাইড, জল ও আলোকের প্রয়োজনীয়তার কথা উল্লেখ করা হইলেও সালোকসংশ্লেষের সম্পূর্ণ সমস্যার সমাধান বিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগের পূর্বে সম্ভব হয় নাই।

1905 খৃষ্টাব্দে ব্ল্যাকম্যানের (Blackman) চাঞ্চল্যকর মন্তব্য সমগ্র উদ্ভিদ শারীরবিদ্‌দের বিস্মিত করিয়া তোলে। তিনি সর্বপ্রথম মন্তব্য করেন যে, সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিটি 'আলোক' ও 'অন্ধকার' এই দুইটি প্রতিক্রিয়ার মাধ্যমে সমাধা হয়। সালোকসংশ্লেষে এই দুইটি বিক্রিয়ার পূর্ণ ব্যাখ্যা অবশ্য আরও 35 বৎসর পর সমাধা হইয়াছে। 1930-31 খৃষ্টাব্দে ভ্যান্ নীল (Van Niel) এবং 1932 খৃষ্টাব্দে এমারসন ও আরনন (Emerson and Arnon) উপরোক্ত বিক্রিয়া দুইটির কিঞ্চিৎ আলোকপাত করেন। এর পরবর্তী পর্যায়ে 1937 খৃষ্টাব্দে রবীন হিল (Robin Hill) অন্তরিত (isolated) ক্লোরোপ্লাস্ট দ্বারা পরীক্ষা করিয়া প্রমাণ করেন যে আলোক, জল এবং উপযুক্ত হাইড্রোজেন গ্রহীতার উপস্থিতিতে কার্বন ডাই-অক্সাইড ব্যতীতই অক্সিজেনের উদ্ভব ঘটে। সুতরাং সালোকসংশ্লেষে অক্সিজেন কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিবর্তে জল হইতে উদ্ভূত হয়।

1930-31 খৃষ্টাব্দে ভ্যান্ নীল (Van Niel) 'সালোকসংশ্লেষের সমীকরণের সুস্পষ্ট ইঙ্গিত দেন।

$$CO_2 + 2H_2O* + nhv \xrightarrow[\text{উৎসেচক}]{\text{ক্লোরোপ্লাস্ট}} (CH_2O) + H_2O + O_2*$$

এক্ষেত্রে জল হাইড্রোজেন গ্রহীতার কার্য করে এবং জারিত হইয়া অক্সিজেন নির্গত হয়। ভ্যান্ নীলের এই সমীকরণটি পরবর্তীকালে তেজষ্ক্রিয় অক্সিজেন (^{18}O) পরীক্ষা দ্বারা সুস্পষ্টভাবে প্রমাণিত হইয়াছে।

উপরোক্ত আবিষ্কারের ফলে সালোকসংশ্লেষের বিবিধ মৌলিক সমস্যার সমাধান হইলেও সালোকসংশ্লেষের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলির সমাধান 1950 খৃষ্টাব্দের পূর্বে সম্ভব হয় নাই। 1950-56 খৃষ্টাব্দে ক্যালভিন (Calvin) এবং তাহার সহকর্মীরা ^{14}C-নামক তেজষ্ক্রিয় আইসোটোপের সাহায্যে সালোকসংশ্লেষের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলির কিঞ্চিত সমাধা করিতে সমর্থ হন।

সালোকসংশ্লেষের অকুস্থল (Locale for Photosynthesis) : অধিকাংশ উদ্ভিদে প্লাস্‌টিড (plastids) নামক একটি বিশেষ কোষস্থ অঙ্গে (cell organelles) সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া সম্পন্ন হইয়া থাকে। সবুজ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে প্লাস্‌টিডগুলিতে ক্লোরোফিল (chlorophyll) নামক সবুজ রঞ্জক পদার্থ নিহিত থাকায় এই প্লাস্‌টিডগুলিকে **ক্লোরোপ্লাস্‌টিড** বা **ক্লোরোপ্লাস্ট** (chloroplasts or chloroplastids) বলা হয়। কোষে ক্লোরোপ্লাস্টের সংখ্যা, গঠন এবং আয়তনের বিভিন্নতা বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়। ক্লোরেলা (*Chlorella*) নামক সবুজ শৈবালে একটি মাত্র পেয়ালাকৃতির ক্লোরোপ্লাস্ট এবং অন্যান্য উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদে ও শৈবালে একাধিক ক্লোরোপ্লাস্ট পরিলক্ষিত হয়। গঠনের দিক হইতে অধিকাংশ ক্লোরোপ্লাস্টগুলি গোলাকার বা ডিম্বাকার এবং ব্যাস 4-6 মাইক্রণ।

ইলেকট্রন অনুবীক্ষণ যন্ত্রে ইহাদের দুই স্তর বিশিষ্ট (double layered)

একক পর্দা (unit membrane) দৃশ্যমান হয়। প্রতিটি একক পর্দা 40-60 A পুরু। পর্দার ভিতরের ধাত্র বা ম্যাট্রিক্স-কে (matrix) **স্ট্রোমা** (stroma) বলা হয়। স্ট্রোমার মধ্যে নিহিত থাকে ঝিল্লিময় অসংখ্য চাক্‌তি। ইহাদের **গ্রাণা** (grana) বলা হয়। স্ট্রোমা ও গ্রাণা ব্যতীত ক্লোরোপ্লাস্টে স্টার্চ ও তৈলবিন্দুও পরিলক্ষিত হয়। গ্রাণাগুলি স্তরে স্তরে সজ্জিত থাকে এবং গ্রাণা চাক্‌তির নির্দিষ্ট স্তরকে ল্যামেলা (গ্রাণা ল্যামেলা) বা **থাইলাকয়েড** (thylokoid) বলা হয়। প্রতি ক্লোরোপ্লাস্টে 10 থেকে 100 পর্যন্ত গ্রাণা নিহিত থাকে। গ্রাণাগুলির ব্যাস 4000-6000 A এবং উচ্চতা 5000-8000 A। গ্রাণা ল্যামেলা প্রোটীন ও লিপিত সমন্বিত। এই প্রোটীন ও লিপিড অংশেই ক্লোরোফিল নিহিত থাকে। জলের ফোটোলাইসিস (photolysis of water) এবং ইলেক্‌ট্রনের স্থানান্তরণ, সালোকসংশ্লেষের বিশেষ দুইটি বিক্রিয়া গ্রাণা অংশে সংঘটিত হয়।

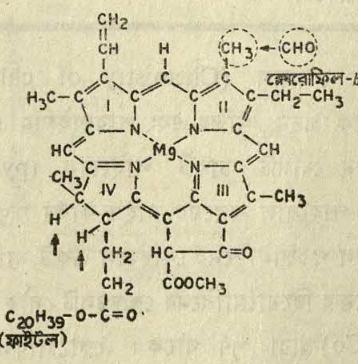
সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্‌টিরিয়া (photosynthetic bacteria) এবং নীল-সবুজ শৈবালের (blue-green algae) ক্ষেত্রে প্লাস্‌টিড জাতীয় কোষস্থ অঙ্গ অনুপস্থিত। এই জাতীয় উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষ কোষমধ্যস্থ কতকগুলি ল্যামেলাযুক্ত বা স্ফীত (vesicular) পর্দা সমন্বিত অংশে সংঘটিত হয়। এই ধরনের গঠনকে **ক্রোমাটোফোর** (chromatophore) বলা হয়। ক্রোমাটো-ফোরের স্তরগুলি গ্রাণা ল্যামেলার ন্যায় প্রোটীন ও লিপিড সমন্বিত এবং এই দুইটির মধ্যবর্তী অংশে ক্লোরোফিল নিহিত থাকে। ক্লোরোফিলের পরফাইরিন (porphyrin) অংশ প্রোটীনে এবং ফাইটল (phytol) অংশ লিপিড অংশে অভিক্ষিপ্ত থাকে। বর্তমানে ইলেক্‌ট্রন অণুবীক্ষন যন্ত্রে ক্লোরোপ্লাস্টে আরও একটি বিশেষ অংশ দৃশ্যমান হয়। ইহারা সাধারণতঃ গোলাকার কণিকা বিশিষ্ট (granules) এবং ইহাদের ব্যাস 100 A। এই জাতীয় কণিকাগুলি সাধারণতঃ উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদের ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রাণা অংশে বিদ্যমান। এই কণিকাগুলিকে **কোয়াণ্টোসোম্‌** (quantosomes) বলা হয়। এই কোয়াণ্ট-সোম্‌ অংশেই ক্লোরোফিল ও সালোকসংশ্লেষকারী উৎসেচক বর্তমান।

সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থ

সৌরশক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করিবার অক্ষমতায় জীবনের

অস্তিত্বকে কল্পনা করা যায় না। বেন্‌ট্লি গ্লাস (Bentley Glass) তাই জীবনকে "আলোক রসায়ন ঘটনা" (photo chemical phenomenon) রূপে নির্ণিত করেন। জীব কোষে আলোক শোষণ করিবার রাসায়নিক যৌগকে রঞ্জক পদার্থ বলে। উদ্ভিদকোষে ক্লোরোপ্লাস্ট বা ক্রোমোটোফোরে সঞ্চিত রঞ্জক পদার্থই সালোকসংশ্লেষের আলোক শোষণ করিয়া থাকে। এই আলোক শোষণের মাধ্যমেই সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিটির সুরু। সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থের বিবরণ নীচের তালিকায় লিপিবদ্ধ হইল।

ক. **ক্লোরোফিল (Chlorophylls)**ঃ উদ্ভিদের ক্লোরোপ্লাস্টে সঞ্চিত সবুজ রঞ্জক পদার্থ অর্থাৎ ক্লোরোফিল সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থের মধ্যে অন্যতম। ক্লোরোফিল a, b, c, d এবং e, ব্যাক্‌টিরিও ক্লোরোফিল এবং ব্যাক্‌টিরিওভিরিডিন নামক মোট সাত প্রকারের ক্লোরোফিল উদ্ভিদ কোষে পরিলক্ষিত হয়। ইহাদের মধ্যে সমস্ত প্রকার শৈবাল ও উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদের প্রধান সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থ ক্লোরোফিল-a। সবুজ শৈবাল ও উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদে ক্লোরোফিল-a ক্লোরোফিল-b এর সহিত মিশ্রিত অবস্থায় থাকে। বাদামী শৈবাল ও ডায়াটম (diatoms) জাতীয় উদ্ভিদে ক্লোরোফিল-a এবং c; লাল শৈবালে ক্লোরোফিল-a এবং d বিদ্যমান। ভাউচেরিয়া (*Vaucheria*) এবং ট্রাইবোনিমা (*Tribonema*) নামক জ্যান্থোফাইসী (Xanthophyceae) জাতীয় উদ্ভিদে ক্লোরোফিল-a এবং e মিশ্রিত থাকে।



চিত্র-35ঃ ক্লোরোফিল a-র রাসায়নিক গঠন। উক্ত গঠনের দ্বিতীয় বলয়ের মিথাইল বর্গটি (CH_3) অ্যালডিহাইড বর্গ দ্বারা (CHO) প্রতিস্থাপিত হইয়া ক্লোরোফিল-b গঠিত হয়।

তালিকা-10 : উদ্ভিদের প্রধান সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থ

উদ্ভিদ গোষ্ঠী	প্রধান ক্লোরোফিল	সহায়ক ক্লোরোফিল	অন্যান্য সহায়ক রঞ্জক পদার্থ
বহুকোষী সবুজ উদ্ভিদ	ক্লোরোফিল-a_{680} ক্লোরোফিল-a_{695}	ক্লোরোফিল-$b_{560, 480}$ ক্লোরোফিল-a_{670}	ক্যারটিনয়েড
সবুজ শৈবাল	"	"	"
বাদামী শৈবাল	ক্লোরোফিল-a	ক্লোরোফিল-c	β-ক্যারটিন ও ফিউকোজ্যান্থিন
লাল শৈবাল	ক্লোরোফিল-a	ক্লোরোফিল-d	β-ক্যারটিন ও ফাইকোবাইলিন
নীল-সবুজ শৈবাল	ক্লোরোফিল-a		ফাইকোবাইলিন
ডায়াটম	ক্লোরোফিল-a	ক্লোরোফিল-c	β-ক্যারটিন ও ফিউকোজ্যান্থিন
বেগ্‌নী ব্যাক্‌টিরিয়া	ব্যাক্‌টিরিও ক্লোরোফিল		ক্যারটিনয়েড

ক্লোরোফিলের রসায়ন (Chemistry of chlorophyll) : সমস্ত ক্লোরোফিলের মৌলিক গঠন অভিন্ন এবং পারফাইরিন (porphyrin) যৌগ সমন্বিত। পরফাইরিন যৌগটি চারটি পাইরোল (pyrrole) বলয় দ্বারা সৃষ্টি হয়। তৃতীয় পাইরোল বলয়ের সহিত কার্বন অণুর একটি পঞ্চম বলয় বর্তমান। কোরোফিল পরফাইরিনের কেন্দ্রস্থলে একটি ম্যাগনেসিয়াম (Mg^{++}) ধাতু অবস্থিত। রক্তের হিমোগ্লোবিনের কেন্দ্রস্থলটি লৌহ (Fe) এবং ভিটামিন B_{12}-এ কোবাল্ট (Co) দ্বারা পূর্ণ থাকে। ক্লোরোফিল গঠনের আর একটি বিশেষ উপাদান দীর্ঘ শৃঙ্খল ফাইটল (phytol) অণু (ক্লোরোফিল-c ফাইটল শৃঙ্খলটি চতুর্থ পাইরোল বলয়ের সঙ্গে যুক্ত থাকে (চিত্র-35)। ক্লোলো-ফিলের লিপিড দ্রাব্যতা ফাইটল অংশের উপর নির্ভরশীল।

বিভিন্ন ক্লোরোফিলে পাইরোল বলয়ের পার্শ্ব শৃঙ্খলে ব্যতিক্রম পরিলক্ষিত হয়। ক্লোরোফিল-a এবং b-এর মধ্যে দ্বিতীয় পাইরল বলয়ে পার্থক্য পরিলক্ষিত হয়। ক্লোরোফিল-a মেথিল বর্গের ($^-CH_3$) পরিবর্তে ক্লোরোফিল-b তে একটি অ্যালডিহাইড ($^-$CHO) বর্গ উপস্থিত। উদ্ভিদে ক্লোরোফিল-a ক্লোরোফিল-b-র তুলনায় 2·5 গুণ বেশী থাকে। বিভিন্ন ক্লোরোফিল অণুর রাসায়নিক সংকেত নিম্নে লিপিবদ্ধ হইল।

ক্লোরোফিল-a—$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

ক্লোরোফিল-b—$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$

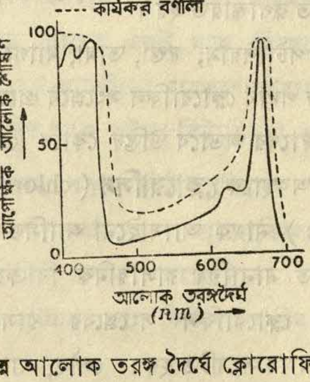
ক্লোরোফিল-c—সঠিক গঠন অজ্ঞাত। সম্ভবতঃ ফাইটল বিহীন এবং চতুর্থ পাইরোল বলয়টি বিজারিত নয়।

ক্লোরোফিল-d—$C_{54}H_{70}O_6N_4Mg$। প্রথম পাইরোল বলয়ে ভিনাইল বর্গের পরিবর্তে ফরমাইল (CHO) বর্গ উপস্থিত।

ব্যাক্টিরিও ক্লোরোফিল—$C_{55}H_{74}O_6N_4Mg$

ব্যাক্টিরিও ভিরিডিন—$C_{55}H_{72}O_6N_4Mg$

বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের (spectroscope) সাহায্যে দেখা গিয়াছে যে, আলোকের সাতটি বর্ণ প্রবাহের মধ্যে ক্লোরোফিল-a এবং b নীল বেগ্নী এবং লাল অংশগুলিতেই সর্বাপেক্ষা অধিক শোষণ করে (চিত্র-36)।



চিত্র-36 : বিভিন্ন আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘে ক্লোরোফিল a-র শোষণ বর্ণালী ও সালোকসংশ্লেষের কার্যকর বর্ণালীর আন্তসম্পর্ক

আলোকের সবুজ অংশের শোষণ সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম। নীল-বেগ্নি ও লাল অংশের শোষিত আলোক শক্তিই একমাত্র সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় প্রধান

অংশ গ্রহণ করে। তাই ইথাইল ইথারে ক্লোরোফিল-a শোষণ শীর্ষ (absorption peak) 660 nm অংশে কিন্তু সজীব কোষে ইহার শোষণ শীর্ষ 685 nm অংশে পরিলক্ষিত হয়। সুতরাং ক্লোরোফিলের আলোক শোষণ শীর্ষ ক্লোরোফিলের দ্রবণের উপর নির্ভরশীল।

দ্রব অবস্থায় ক্লোরোফিল অতীব প্রতিপ্রভ (fluorescent) এবং সাধারণভাবে লাল আলোক নির্গত করে। জীব কোষে এই প্রতিপ্রভ শক্তি সালোকসংশ্লেষ কার্য্যে ব্যবহৃত হয়।

ক্লোরোফিল সংশ্লেষ (Synthesis of chlorophylls) **:** জীব কোষে ক্লোরোফিলের সংশ্লেষ আলোক ও নানাবিধ খনিজ পদার্থের উপস্থিতির উপর নির্ভরশীল। ক্লোরোফিল সৃষ্টিকারী 'জিনের' অভাবে ক্লোরোফিলবিহীন উদ্ভিদকে **অ্যাল্‌বিনো** (albino) বলা হয়। নানা জাতীয় ভুট্টা গাছে এই জাতীয় অ্যাল্‌বিনো পরিলক্ষিত হয়। ক্লোরোফিলের অভাবে এই জাতীয় গাছ পরিপক্কতার পূর্বেই মরিয়া যায়।

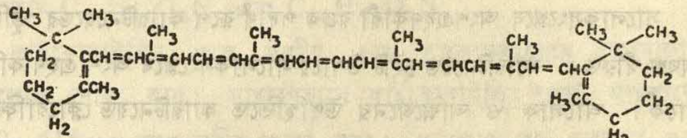
গুপ্তবীজী উদ্ভিদে ক্লোরোফিল সংশ্লেষে আলোকের প্রয়োজনীয়তা অবশ্য স্বীকৃত। আলোকের অনুপস্থিতিতে ক্লোরোফিল অণুর চতুর্থ পাইরোল বলয়ের হাইড্রোজেন দুইটি অনুপস্থিত। এই অবস্থায় ক্লোরোফিলের এই গঠনকে **প্রোটোক্লোরোফিল** (protochlorophyll) বলা হয়। আলোকের উপস্থিতিতে আলোক বিজারণ (photo reduction) প্রক্রিয়ার দ্বারা প্রোটোক্লোরোফিল অণুতে রূপান্তরিত হয়।

লৌহ, ম্যাঙ্গানিজ, পটাশিয়াম, দস্তা, তামা, ম্যাগনেশিয়াম, নাইট্রোজেন প্রভৃতি নানাবিধ খনিজ পদার্থ ক্লোরোফিল সংশ্লেষে প্রয়োজনীয়। উপরোক্ত যে কোন একটি খনিজ পদার্থের অভাবে উদ্ভিদ কোষে ক্লোরোফিল সংশ্লেষিত হয় না। উদ্ভিদের এই অবস্থাকে **ক্লোরোসিস** (chlorosis)।

গ্লাইসিন (glycine) নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড ও ক্রেবস চক্রে উদ্ভূত সাক্সিনিল কো-A সহিত নানাবিধ রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে পাইরোল বলয়ের উৎপত্তি হয়। ক্লোরোফিল সংশ্লেষের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি নানাবিধ উৎসেচকের মাধ্যমে সংঘটিত হয়। লৌহ, ম্যাঙ্গানিজ, পটাশিয়াম, দস্তা ও তামা প্রভৃতি অজৈব যৌগগুলি নানাবিধ উৎসেচক প্রস্তুতে সাহায্য

করে। নাইট্রোজেন ও ম্যাগনেশিয়াম ক্লোরোফিল অণুর অংশ তাই এদের অভাবেও ক্লোরোফিল প্রস্তুতে বিঘ্ন ঘটে।

খ. **ক্যারটিনয়েড** (Carotenoids): ক্লোরোপ্লাস্টে লাল, কমলা, হলুদ ও বাদামী বর্ণের এক প্রকার রঞ্জক পদার্থ ক্লোরোফিলের সহিত মিশ্রিত হইয়া থাকে। ক্যারটিনয়েড কমলা বর্ণের **ক্যারটিন** (carotene) এবং হলুদ বর্ণের **জান্থোফিল** (xanthophyll)-এর মিশ্রণে গঠিত। ক্যারটিনয়েড অণুগুলি 40-কার্বন সমন্বিত হাইড্রোকার্বন। ক্যারটিনের রাসায়নিক সংকেত



চিত্র-37 : β-ক্যারটিনের গঠন

$C_{40}H_{56}$। চারিটি 5-কার্বন বিশিষ্ট গঠন খণ্ডের (building blocks) দুইটি একক পাশাপাশি অবস্থান করিয়া ক্যারটিন অণু গঠিত হয়। বিভিন্ন প্রকার ক্যারটিনের মধ্যে α ও β-ক্যারটিন উল্লেখযোগ্য। প্রতি ক্যারটিন অণুর এক বা একাধিক বলয়াকার অংশকে আয়নন বলয় (ionone ring) বলা হয়। আয়নন বলয়ের একটি মাত্র দ্বিবন্ধনের (double bond) অবস্থিতির উপর α ও β-ক্যারটিনের নামকরণ হইয়াছে। ক্যারটিনের অর্দ্ধাংশ, β-আয়নন বলয় সমন্বিত অংশ, হইতে ভিটামিন A প্রস্তুত হয়।

ক্যারটিনের আয়নন বলয়ে দুইটি অক্সিজেন যুক্ত হইয়া জ্যান্থোফিল (xanthophyll) অণু গঠিত। জ্যান্থোফিলের রাসায়নিক সংকেত $C_{40}H_{56}O_2$। বিভিন্ন প্রকার জ্যান্থোফিলের মধ্যে লিউটিন (lutein), জিয়াজ্যান্থিন (zeaxanthin) এবং ফিউকোজ্যান্থিন (fucoxanthin) বিশেষ উল্লেখযোগ্য।

ক্যারটিন ও জ্যান্থোফিল সংশ্লেষ 2-কার্বন বিশিষ্ট অ্যাসিটিল কো-A হইতে 40-কার্বন বিশিষ্ট ফাইটয়েনের (phytoen) মাধ্যমে সাধিত হয়। এই ফাইটয়েন পরবর্তী পর্যায়ে হাইড্রোজেন মুক্ত (dehydrogenation) করিয়া

লাইকোপেন* (lycopene) প্রস্তুত করে। লাইকোপেন অণুগুলি বৃত্তাকৃত হইয়া (cyclization) পরবর্তী পর্যায়ে ক্যারটিন সংশ্লেষিত হইয়া থাকে। ক্যারটিন জারিত হইয়া জ্যান্থোফিল অণু গঠিত হয়।

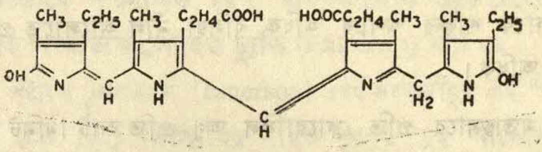
ক্লোরোফিলের ন্যায় ক্যারটিনয়েড অণুগুলিও জলে অদ্রবণীয় এবং জৈব দ্রাবকে দ্রবণীয়। দ্রব অবস্থায় ক্যারটিনয়েড দৃশ্যমান আলোকের 400 এবং 500 nm অংশ সর্বাধিক শোষণ করে। β-ক্যারটিন অংশ হইতে ভিটামিন A প্রস্তুত হয় বলিয়া ক্যারটিনকে প্রো-ভিটামিন-A (provitamin-A) বলা হয়।

সালোকসংশ্লেষে অংশগ্রহণকারী রঞ্জক পদার্থ রূপে ক্যারটিনয়েডের ভূমিকা অবশ্য স্বীকৃত। ক্যারটিনয়েড দুইটি উপায়ে সালোকসংশ্লেষে অংশ গ্রহণ করিয়া থাকে। আলোক ও অক্সিজেনের উপস্থিতিতে ক্যারটিনয়েড ক্লোরোফিলের ধ্বংসের হাত হইতে রক্ষা করে। এই ধ্বংসাত্মক ঘটনাকে **আলোক জারণ** (photoxidation) পদ্ধতি বলা হয়। দ্বিতীয়তঃ ক্যারটিনয়েড সালোক-সংশ্লেষে অংশগ্রহণকারী আলোক শোষণ করিয়া থাকে। বিভিন্ন প্রকার ক্যারটিনয়েডের মধ্যে ফিউকোজ্যান্থিন (fucoxanthin) প্রভৃতি কতিপয় ক্যারটিনয়েড সালোকসংশ্লেষে সক্রিয় অংশ গ্রহণ করিয়া থাকে। ক্যারটিনয়েড আলোক শোষণ করিবার পর তাহাদের উত্তেজিত শক্তি (excited energy) ক্লোরোফিল-a অণুতে স্থানান্তরিত করে। তাই শুধুমাত্র ক্যারটিন শোষিত আলোকের উপস্থিতিতেও ক্লোরোফিল-a অণুর লাল প্রতিপ্রভ পরিলক্ষিত হয়।

গ. **ফাইকোবাইলিন** (Phycobilins) : নীল-সবুজ ও লাল শৈবালে **ফাইকোবাইলিন** নামক সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থ উপস্থিত থাকে। লাল **ফাইকোএরিথ্রিন** (phycoerythrin) এবং নীল **ফাইকোসায়ানিন** (phycocyanin) রঞ্জক পদার্থকে একত্রিত ভাবে ফাইকোবাইলিন নামে পরিচিত। ফাইকোবাইলিন উদ্ভিদ কোষে প্রোটীনের সহিত যুক্ত হইয়া রঞ্জক-প্রোটীন যৌগের সৃষ্টি করে। ক্লোরোফিলের ন্যায় ফাইকোবাইলিন চারিটি পাইরোল বলয় সমন্বিত। পাইরোল বলয়গুলি

* টমাটো গাছের (*Lycopersicon esculentum*) উপস্থিত থাকায় এই যৌগকে লাইকোপেন (Lycopene) বলা হয়।

ক্লোরোফিলের ন্যায় বদ্ধ (closed) অবস্থায় না থাকিয়া মুক্ত (open) অবস্থায়



চিত্র-38 : ফাইকোবাইলিনের রাসায়নিক গঠন

বিগুমান। ফাইকোএরিথ্রিন ও ফাইকোসাবানিনের রাসায়নিক সংকেত যথাক্রমে $C_{34}H_{46}O_8N_4$ এবং $C_{34}H_{44}O_8N_4$।

ফাইকোবাইলিন জলে দ্রবণীয় এবং সালোকসংশ্লেষে সাহায্যকারী আলোক শোষণ করে। সাধারণভাবে ফাইকোবাইলিন দৃশ্যমান আলোকের 550—615 nm অংশ অধিক শোষণ করে। আলোক বর্ণ প্রবাহের সবুজ অংশ ফাইকোবাইলিন দ্বারা শোষিত হয় বলিয়া লাল শৈবালে এই অংশেও সালোকসংশ্লেষ সংঘটিত হয়।

ক্যারটিনয়েড ও ফাইকোবাইলিনের শোষিত আলোক সরাসরি সালোক-সংশ্লেষ প্রক্রিয়ার ব্যবহৃত হয় না। ক্লোরোফিল b, c, d এবং e রঞ্জক পদার্থগুলিও সরাসরি সালোকসংশ্লেষ কার্য্যে ব্যবহৃত না হইয়া, তাহাদের শোষিত আলোক শক্তি ক্লোরোফিল a-অণুতে স্থানান্তরিত করে। এই রঞ্জক পদার্থগুলিকে **সহায়ক রঞ্জক পদার্থও** (accessory pigments) বলা হয়।

সালোকসংশ্লেষে শক্তির সম্বন্ধ (Energy Relation of Photosynthesis):

পরীক্ষালব্ধ জ্ঞানে ইহা নিশ্চিত যে প্রতি মোল (mole) কার্বন ডাই অক্সাইড জলের উপস্থিতিতে বিজারিত হইয়া কার্বোহাইড্রেট (মৌল CH_2O একক) প্রস্তুত করিতে 118 কিলো ক্যালরি শক্তির প্রয়োজন। আলোকের প্রতি ফোটন কণিকায় 43 কিলো ক্যালরি শক্তি নিবদ্ধ থাকে। সুতরাং প্রতি মোল কার্বন ডাই অক্সাইড বিজারিত করিতে কমপক্ষে তিনটি ফোটন কণিকার প্রয়োজন। কিন্তু পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, প্রতি মোল কার্বন ডাই অক্সাইডকে বিজারিত করিতে 8-10টি ফোটন কণিকার প্রয়োজন। ফোটনের এই সংখ্যাকে সালোকসংশ্লেষের **প্রয়োজনীয় কোয়ান্টা** (Quantam requirement) বলা হয়। তত্ত্বীয় (theoretical) এবং গবেষণা-

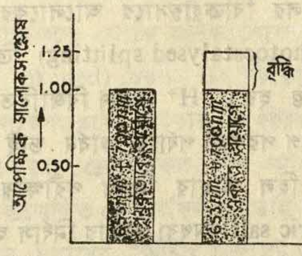
মূলক (experimental) মতের এই পার্থক্য হইতে ইহা নিশ্চিত যে সালোকসংশ্লেষের সময় বেশ কিছু শক্তি অপচয় হয়। লাল আলোক অপেক্ষা নীল আলোকে শক্তির অপচয় অধিক বলিয়া নীল আলোতে প্রয়োজনীয় কোয়াণ্টাও অধিক।

তত্ত্বীয় মতানুসারে প্রতি ক্লোরোফিল অণু প্রতি আট মিনিট অন্তর এক একটি ফোটন শোষণ করে। সুতরাং আটটি ফোটন (প্রতি মোল কার্বন ডাই অক্সাইডকে বিজারিত করিতে প্রয়োজন) শোষণ করিতে ক্লোরোফিলের মোট এক ঘণ্টা সময় প্রয়োজন এবং এই সময়েই সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিটি সম্পন্ন হইবে। কিন্তু গবেষণামূলক পরীক্ষা দ্বারা ইহা প্রমাণিত যে, আলোকের উপস্থিতির সঙ্গে সঙ্গে সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিটি সংঘটিত হয় এবং ক্লোরোফিল উত্তেজিত হইয়া 0·01 সেকেণ্ডের অধিক স্থায়ী হয় না। প্রকৃতপক্ষে, ক্লোরোপ্লাস্টে আলোক পরিবামাত্রই ক্লোরোফিল ও সহায়ক রঞ্জক পদার্থগুলি আলোক শোষণ করিয়া অবিলম্বে সেই শোষিত আলোক সালোকসংশ্লেষের সাধারণ বিক্রিয়া কেন্দ্রে (common reaction center) স্থানান্তরিত করিয়া শক্তি সঞ্চিত করিয়া রাখে। এই বিক্রিয়া কেন্দ্রগুলিতে 700 nm আলোক শোষণকারী এক একটি ক্লোরোফিল-a অণু উপস্থিত। সালোকসংশ্লেষকারী এই ক্লোরোফিল P_{700} নামে অভিহিত। প্রতি P_{700} অণুতে কমবেশী 400 ক্লোরোফিল কণিকা বর্তমান। এক একটি বিক্রিয়া কেন্দ্রের চতুর্দিকে এই শতাধিক ক্লোরোফিল অণুর উপস্থিতিকে **সালোকসংশ্লেষকারী একক** (photosynthetic unit) বলা হয়। 1964 খৃষ্টাব্দে পার্ক (Park) গ্রাণা স্তরের উপর 240 ক্লোরোফিল অণু সমন্বিত স্ফীত অংশ লক্ষ্য করেন। এই স্ফীত অংশগুলিকে **কোয়াণ্টাসোম** (quantasome) বলা হয়। এক একটি কোয়াণ্টাসোমে সালোকসংশ্লেষের একক নিহত থাকে।

লোহিত চ্যুতি ও এমারসনের আরোপিত প্রভাব (Red drop and Emerson effect) ঃ 1943 খৃষ্টাব্দে এমারসন (Emerson) এবং সহকর্মীবৃন্দ ক্লোরেলা (*Chlorella*) প্রভৃতি সবুজ শৈবালের সালোকসংশ্লেষের **কার্য বর্ণালী** (action spectra) পরীক্ষা করিয়া প্রমাণ করেন যে, সালোকসংশ্লেষ শুধুমাত্র হ্রস্ব আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে (wave length) কম হয় তাহা নহে দীর্ঘ আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে (680 nm) (ক্লোরোফিল-a কর্তৃক আলোক শোষণ করা সত্ত্বেও)

সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতির অবনতি ঘটে। লাল শৈবালের ক্ষেত্রে এই অবনতি আরও প্রকটভাবে পরিলক্ষিত হয়। দীর্ঘ আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে সালোক-সংশ্লেষের এই অবনতিকে **লোহিত চ্যুতি** (red drop) বলা হয়।

1957 খৃষ্টাব্দে এমারসন (Emerson) এবং সহকর্মীবৃন্দ এই "অকার্যকর" সুদূর লাল (far red) আলোকের সহিত যুগপৎ হ্রস্ব আলোক মিশ্রণে সালোকসংশ্লেষের গতি বৃদ্ধি লক্ষ্য করেন। পৃথক ভাবে এই দুইটি আলোকের প্রভাবে অক্সিজেন নির্গমনের পরিমাণ অপেক্ষা উপরোক্ত দুইটি অনুপূরক



চিত্র-39 : এমারসনের আরোপিত প্রভাব

আলোকে (supplementary light) বেশী মাত্রায় অক্সিজেন উৎপন্ন হইয়া থাকে। সুদূর লাল আলোকের (700 nm) সঙ্গে কমলা-লাল আলোকের (650 nm) প্রভাবে সালোকসংশ্লেষের এই বৃদ্ধির হারকে **এমারসন আরোপিত প্রভাব** (Emerson effect) বলা হয় (চিত্র-39)। এমারসনের আরোপিত প্রভাব **(E)** নিম্নলিখিত সংকের সাহায্যে নিরুপিত হয়।

$$E = \frac{\Delta O_2 \text{ (অনুপূরক আলোকে)} - \Delta O_2 \text{ (হ্রস্ব আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে)}}{\Delta O_2 \text{ (দীর্ঘ আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে)}}$$

এখানে ΔO_2 = অক্সিজেন নির্গমনের হার।

হিলের বিক্রিয়া (Hill reaction) : সালোকসংশ্লেষে অক্সিজেন নির্গমনের বিষয়টি বৈজ্ঞানিকদের নিকট একটি সমস্যার প্রশ্ন। বিংশ শতাব্দীর গোড়ার দিকে বৈজ্ঞানিকদের নিকট ধারনা ছিল যে, সালোকসংশ্লেষের অক্সিজেন কার্বন ডাই অক্সাইড উদ্ভূত। বর্তমানে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ দ্বারা নিশ্চিত প্রমাণিত হইয়াছে যে, এই অক্সিজেন কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিবর্তে জল হইতে উদ্ভূত হয়।

রোবিন হিল 1940 খৃষ্টাব্দে অন্তরিত (isolated) ক্লোরোপ্লাস্টে আলোক ও হাইড্রোজেন গ্রহীতার উপস্থিতিতে জল বিয়োজিত হইয়া অক্সিজেন উৎপাদনে প্রমাণ করেন। হিলের এই উপরোক্ত বিক্রিয়াকে **হিলের বিক্রিয়া** (Hill reaction) বলা হয়।

$$2H_2O* + 2A \text{ (হাইড্রোজেন গ্রহীতা)} \xrightarrow[\text{ক্লোরোপ্লাস্ট}]{\text{আলোক}} 2AH_2 + O_2*$$

উপরোক্ত বিক্রিয়ায় ইহা নিশ্চিত যে, সালোকসংশ্লেষের অক্সিজেন জল হইতে নির্গত হয়। হিলের বিক্রিয়ানুসারে আলোকের উপস্থিতিতে জলের আলোক বিয়োজন (photocatalysed splitting) ক্রিয়ার ফলে H^+ এবং OH^- আয়নের উৎপত্তি হয়। H^+ আয়ন বিজারিত যৌগের (AH_2) সৃষ্টি করে। এই বিজারিত যৌগ পরবর্তী পর্যায়ে কার্বন ডাই অক্সাইডকে বিজারিত করিতে সাহায্য করে। হিল তাহার নিজস্ব পরীক্ষায় কার্বন ডাই অক্সাইড ব্যতীত লৌহ লবণ (ferric salt) অথবা পাতার নির্যাস দ্বারা পরীক্ষা করিয়া অক্সিজেনের নির্গমন লক্ষ্য করেন। হিল তাহার এই পরীক্ষা দ্বারা স্থির সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, ক্লোরোপ্লাস্ট আলোক শোষণ করিয়া কার্বন ডাই অক্সাইড ব্যতীত একটি বিজারিত যৌগ এবং অক্সিজেন উৎপন্ন করিয়া থাকে। হিলের বিক্রিয়ানুসারে সালোকসংশ্লেষে কার্বন ডাই অক্সাইডের বিজারণ নিম্নোক্ত সমীকরণের সাহায্যে সংঘঠিত হয়।

$$CO_2 + AH_2 \longrightarrow (CH_2O) + 2A + H_2O$$

হিলের এই পর্যবেক্ষণ 1941 খৃষ্টাব্দে রুবেন ও ক্যামেন (Ruben and Kamen) সমর্থন করেন। তাঁরা ^{18}O তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ দ্বারা ক্লোরেলা (*Chlorella*) নামক সবুজ শৈবালে পরীক্ষা করিয়া প্রমাণ করিয়াছেন যে সালোকসংশ্লেষের অক্সিজেন জল হইতে নির্গত হয়।

সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি (Mechanism of Photosynthesis): সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিটি 'আলোক' ও 'অন্ধকার' বিক্রিয়ায় বিভক্ত। আলোক বিক্রিয়ায় (light reaction) আলোক অপরিহার্য এবং অন্ধকার বিক্রিয়ায় (dark reaction) আলোকের কোন প্রয়োজন হয় না। আলোক বিক্রিয়াটি দুইটি পৃথক বিক্রিয়ায় সংঘটিত হয় এবং ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রাণা অংশে সীমাবদ্ধ। সালোকসংশ্লেষের এই অংশে বিজারিত $NADP^+$ এবং ATP প্রস্তুত হয়।

সালোকসংশ্লেষের অন্ধকার অংশে কার্বন ডাই অক্সাইডের বিজারণ ঘটে। এই বিক্রিয়াটি ক্লোরোপ্লাস্টের স্ট্রমা অংশে উৎসেচক দ্বারা আলোকের উপস্থিতির ফলে অন্ধকার বিক্রিয়াটি সংঘটিত হয়।

(i) **আলোক বিক্রিয়া** (Light reaction) : ক্লোরোফিলের শোষণ বর্ণালী (absorption spectra) এবং সালোকসংশ্লেষের কার্য বর্ণালী (action spectra) হইতে ইহা নিশ্চিত প্রমাণিত হয় যে, ক্লোরোফিলই সালোকসংশ্লেষের প্রধান আলোক শোষণকারী রঞ্জক পদার্থ। ক্যারটিনয়েড ও অন্যান্য সহায়ক রঞ্জক পদার্থও সালোকসংশ্লেষের কার্যকর ভূমিকা গ্রহণ করে।

আলোকের উপস্থিতিতে ফোটন কণিকা শোষণ করিবার পর ক্লোরোফিল অণুগুলি 'উত্তেজিত' (excited) হয়। এই উত্তেজিত ক্লোরোফিল অণুগুলি ক্ষণস্থায়ী এবং সালোকসংশ্লেষে কার্যকার না হইলে এই শক্তি শীঘ্রই তাপ ও বিকিরণ দ্বারা বিনষ্ট হয়। ক্লোরোফিল নীল আলোক শোষণ করিবা মাত্র উত্তেজিত হয়, এই উত্তেজিত ক্লোরোফিল অণুগুলি অত্যন্ত ক্ষণস্থায়ী (10^{-11} সেকেণ্ড) এবং তখন ইহাদের "দ্বিতীয় সিঙ্গলেট অবস্থা" (second singlet state) বলা হয়। অতঃপর তাপ বিকিরণ দ্বারা ইহারা "প্রথম সিঙ্গলেট অবস্থায়" (first singlet state) পরিণত হয়। ক্লোরোফিল লাল আলোক শোষণ করিয়া সরাসরি প্রথম সিঙ্গলেট অবস্থায় পরিণত হয়। প্রথম অবস্থার ন্যায় এই অবস্থাটিও ক্ষণস্থায়ী (10^{-9} সেকেণ্ড)। প্রথম সিঙ্গলেট অবস্থা হইতে ইহারা "ট্রিপ্লেট অবস্থায়" (triplet state) পরিণত হয় এই অবস্থাতেই ক্লোরোফিল অণুগুলি সক্রিয়ভাবে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করিয়া থাকে।

ক্লোরোফিলে আলোক শোষণ করিবামাত্রই উত্তেজিত ক্লোরোফিল অণু হইতে ইলেকট্রন নিক্ষেপিত (ejected) হইয়া $NADP^+$ অণুকে বিজারিত করে। ইলেকট্রন নিক্ষেপনের সঙ্গে সঙ্গে ক্লোরোফিল অণুতে ইলেকট্রন শূন্য গর্ভতার (electron vacancy) সৃষ্টি হয়। আলোকের উপস্থিতিতে জল বিয়োজনের ফলে উদ্ভূত ইলেকট্রন পরবর্তী পর্যায়ে ক্লোরোফিলের এই ইলেকট্রন শূন্য গর্ভা পূর্ণ করে। ইলেকট্রন পূর্ণতা প্রাপ্তির সঙ্গে সঙ্গে ক্লোরোফিল অণু পুনরায় "স্থায়ী" (stable) অবস্থায় প্রাপ্ত হয় এবং পুনরায় আলোক শোষণ করিবার শক্তি অর্জন করে।

দুইটি রঞ্জক তন্ত্র (Two pigment system) ঃ এমারসন ও র‍্যাবিনউইচ (Emerson and Rabinowitch) 1960 খৃষ্টাব্দে সবুজ, নীল-সবুজ ও লাল শৈবালে অনুপূরক আলোকের উপস্থিতিতে এমারসন আরোপিত প্রভাবের (বিশদ বিবরণের জন্য পূর্বে দ্রষ্টব্য) বিশদ্ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, সহায়ক রঞ্জক পদার্থ (সবুজ শৈবালের ক্ষেত্রে ক্লোরোফিল-b, লাল ও নীল-সবুজ শৈবালের ক্ষেত্রে ফাইকোবাইলিন) দ্বারা আলোক শোষিত হইলে এমারসন আরোপিত প্রভাবের বৃদ্ধি ঘটে। সুতরাং সালোকসংশ্লেষকে পূর্ণ কার্যকর করিবার জন্য ক্লোরোফিল-a ব্যতীত অন্য কোন সহায়ক রঞ্জক পদার্থেও আলোক শোষণ প্রয়োজন। বর্ণালী অংশের (spectral region) যে স্থানে শুধু মাত্র ক্লোরোফিল-a আলোক শোষণ করে, সেই স্থানেই লোহিত চ্যুতি (red drop) পরিলক্ষিত হয়। এমারসনের এই পরীক্ষা দ্বারা তিনি স্থির সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে সালোকসংশ্লেষ দুইটি আলোক-রসায়ন বিক্রিয়া (photo-chemical reaction) দ্বারা সংঘটিত হয়। একটি ক্লোরোফিল-a তে এবং অপরটি সহায়ক রঞ্জক পদার্থে প্রতিক্রিয়াশীল।

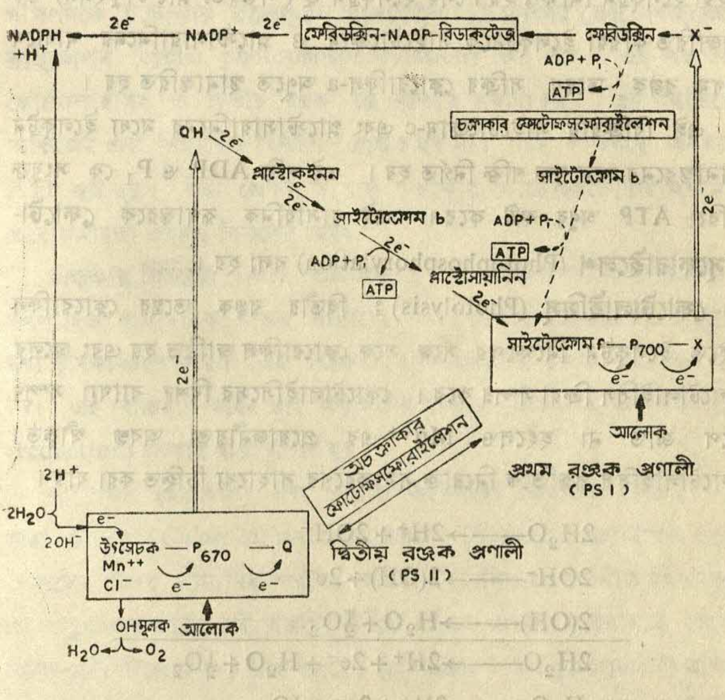
উদ্ভিদে সমস্ত সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থ দুইটি রঞ্জক তন্ত্রে (two pigment system) সীমাবদ্ধ।

(i) **প্রথম রঞ্জক তন্ত্র** (Pigment System 1) ঃ প্রথম রঞ্জক প্রণালীর এককটি কমবেশী 300টি অপ্রতিপ্রভ (nonfluorescent) ক্লোরোফিল-a অণু দ্বারা গঠিত। এই রঞ্জক তন্ত্রে P_{700} নামক বিশেষ আলোক জারিত (photo-oxidisible) রঞ্জক পদার্থ নিহিত থাকে। সবুজ উদ্ভিদে এই তন্ত্রে একটি সাইটোক্রোম-f অণু (ইলেক্‌ট্রন গ্রহীতা) এবং শ্লথ অবস্থায় ফেরিডক্সিন (ferredoxin), সাইটোক্রোম-b_6 এবং প্লাস্টোসায়ানিন (plastocyanin) অণুর মিশ্রণ পরিলক্ষিত হয়।

ক্লোরোফিল কর্তৃক শোষিত আলোকরশ্মি এই ক্লোরোফিল অণু হইতে অপর ক্লোরোফিল অণুতে প্রেরিত হয় এবং অবশেষে ইহা "সক্রিয়" ক্লোরোফিল অণুতে পৌছায়। এই সক্রিয় ক্লোরোফিল অণু 700 nm আলোক শোষণ শীর্ষ বিশিষ্ট ক্লোরোফিল-a (P_{700} নামেও অভিহিত)। সুতরাং আলোক শোষণ করিয়া সক্রিয় ক্লোরোফিল অণু উত্তেজিত হইলে ইলেক্‌ট্রনের নিক্ষেপ ঘটে। জারণ-বিজারণ বিভবের (redox potential) ফলে ইলেক্‌ট্রনটি

ফেরিডক্সিনের মাধ্যমে NADP+-কে বিজারিত করে। NADP+ বিজারণের প্রয়োজনীয় হাইড্রোজেন (H^+) জলের আলোক বিয়োজন (photolysis of water) দ্বারা উদ্ভূত হয়।

(ii) **দ্বিতীয় রঞ্জক তন্ত্র** (Pigment System II) ঃ দ্বিতীয় রঞ্জক তন্ত্রটিও 100টি প্রতিপ্রভ ক্লোরোফিল-a, ক্লোরোফিল-b এবং অন্যান্য সহায়ক রঞ্জক পদার্থ দ্বারা (জীবাণুসারে ক্লোরোফিল c, d এবং ফাইকোবাইলিন ইত্যাদি) গঠিত।



চিত্র-40 : সালোকসংশ্লেষের আলোক বিক্রিয়ায় প্রথম ও দ্বিতীয় রঞ্জক তন্ত্রের(PS I এবং PS II) আন্তসম্পর্ক —— লাইনগুলি অচক্রাকার এবং ...... লাইনগুলি চক্রাকার ফস্‌ফোরাইলেশন নির্দেশ করে।

দ্বিতীয় রঞ্জক তন্ত্রটি স্বয়ংক্রিয় 1 ক্লোরোফিল ব্যতীত প্লাস্টোকুইনন (Q)

প্লাস্টোসায়ানিন (Pc) এবং সাইটোক্রোম-c এই তন্ত্রের অন্তর্ভু'ক্ত। দ্বিতীয় রঞ্জক তন্ত্রটি ক্লোরোপ্লাস্টের থাইলাকয়েড অংশে নিবদ্ধ থাকে।

প্রথম তন্ত্রটির ন্যায় এখানকার সক্রিয় ক্লোরোফিল 670 nm আলোক শোষণ শীর্ষ সমন্বিত ক্লোরোফিল-a অণু (ইহাকে P_{670} ও বলা হয়)।

আরনন (Arnon), কক্ (Kok), গ্যাফ্রন (Gaffron), সান্ পিয়াট্রো (San Pietro) প্রভৃতি উদ্ভিদ শারীরবিদেরা আলোক বিক্রিয়ার সহিত রঞ্জক তন্ত্রের নানাবিধ আধুনিক তথ্য প্রকাশ করিয়াছেন।

আলোক দ্বারা দ্বিতীয় রঞ্জক প্রণালীর ক্লোরোফিল (P_{670}) উত্তেজিত হইয়া ইলেক্ট্রন নিক্ষিপ্ত হয়। সেই ইলেক্ট্রন Q (সম্ভবতঃ প্লাস্টোকুইনন) কে বিজারিত করিয়া ইলেক্ট্রনকে সাইটোক্রোম ও প্লাস্টোসায়ানিনের মাধ্যমে প্রথম রঞ্জক তন্ত্রের সক্রিয় ক্লোরোফিল-a অণুতে স্থানান্তরিত হয়।

এই বিক্রিয়ায় সাইটোক্রোম-c এবং প্লাস্টোসায়ানিনের মধ্যে ইলেক্ট্রন স্থানান্তরনের ফলে মুক্ত শক্তি নির্গত হয়। এই শক্তি ADP ও P_1 কে সংযুক্ত করিয়া ATP অণুর সৃষ্টি করে। এই রাসায়নিক রূপান্তরকে **ফোটো-ফস্‌ফোরাইলেশ** (Photophosphorylation) বলা হয়।

ফোটোলাইসিস্ (Photolysis) : দ্বিতীয় রঞ্জক তন্ত্রের ক্লোরোফিল হইতে ইলেক্ট্রন নিক্ষেপের সঙ্গে সঙ্গে ক্লোরোফিল জারিত হয় এবং জলের ফোটোলাইসিস ক্রিয়া সম্পন্ন করে। ফোটোলাইসিসের বিশদ্ ব্যাখ্যা সম্পূর্ণ রূপে জ্ঞাত না হইলেও Mn^{++}-এর প্রয়োজনীয়তা অবশ্য স্বীকৃত। ফোটোলাইসিস পদ্ধতিকে নিম্নোক্ত সমীকরণের সাহায্যে চিহ্নিত করা যায়।

$$2H_2O \longrightarrow 2H^+ + 2OH^-$$
$$2OH^- \longrightarrow 2(OH) + 2e^-$$
$$2(OH) \longrightarrow H_2O + \tfrac{1}{2}O_2$$
$$\overline{2H_2O \longrightarrow 2H^+ + 2e^- + H_2O + \tfrac{1}{2}O_2}$$

অথবা, $H_2O \longrightarrow 2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2}O_2$

ফোটোলাইসিস প্রক্রিয়ায় উদ্ভূত প্রোটন (H^+) এবং প্রথম রঞ্জক তন্ত্রের মাধ্যমে নিক্ষিপ্ত ইলেক্ট্রন (e^-) দ্বারা $NADP^+$ বিজারিত হয়। পুনরায় দ্বিতীয় রঞ্জক তন্ত্র হইতে প্রথম রঞ্জক তন্ত্রে ইলেক্ট্রনের নিম্নাভিমুখী স্থানান্তরণের ফলে ATP প্রস্তুত হয় ("ফোটোফস্‌ফোরাইলেশন" দ্রষ্টব্য)। সুতরাং

উপরোক্ত ব্যাখ্যার মাধ্যমে ইহা স্পষ্ট যে ইলেক্‌ট্রন স্রোতের দাতা (donor) হইল জল এবং প্রান্তীয় ইলেকট্রন গ্রহীতা (acceptor) $NADP^+$। সালোকসংশ্লেষে ইলেক্‌ট্রনের এই প্রবাহকে **অচক্রাকার ইলেক্‌ট্রন স্থানান্তরণ** বা **অচক্রাকার ফোটোফসফোরাইলেশন** (non-cyclic photophosphorylation) বলা হয়। অক্সিজেন ব্যতীত এই পদ্ধতির মাধ্যমে ATP ও বিজারিত $NADP^+$ প্রস্তুত হয়। অনেক ক্ষেত্রে প্রথম রঞ্জক তন্ত্রের ইলেক্‌ট্রন ফেরিডক্সিন ও $NADP^+$ কে বিজারিত না করিয়া জারক-বিজারক বিভবে পুনরায় ক্লোরোফিল-a (P_{700}) অণুতে ফিরিয়া আসে। ইলেক্‌ট্রনের এই গতিপথকে **চক্রাকার ইলেক্‌ট্রন স্থানান্তরন** বা **চক্রাকার ফোটোফস্‌ফোরাইলেশন** (cyclic photophosphorylation) বলা হয়। এই পদ্ধতিটি ফোটোলাইসিস ও দ্বিতীয় রঞ্জক তন্ত্র ব্যতীত সমাধা হয়। এই পদ্ধতিতে অক্সিজেন এবং বিজারিত $NADP^+$ প্রস্তুত হয় না। এই গতিপথে একমাত্র ATP সৃষ্টি হয়। উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদে চক্রাকার ফোটোফসফোরাইলেশনের প্রয়োজনীয়তা এখনও বিতর্কের বিষয়।

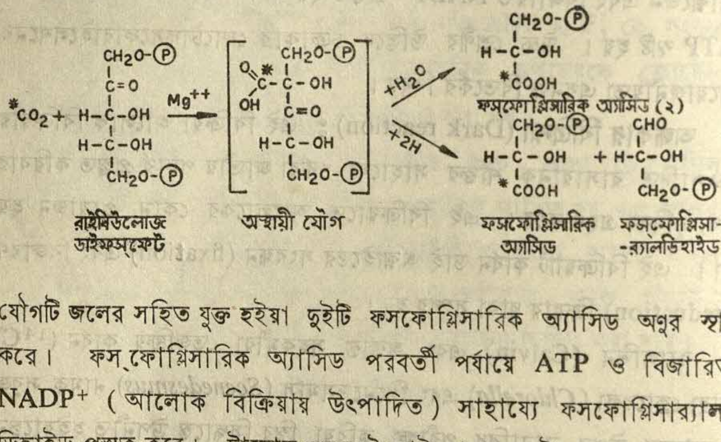
অন্ধকার বিক্রিয়া (Dark reaction) : এই বিক্রিয়া আলোক বিক্রিয়ায় উৎপাদিত রাসায়নিক শক্তির সাহায্যে শর্করা জাতীয় পদার্থ প্রস্তুত করিবার মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করে। এই বিক্রিয়াতে আলোকের কোন প্রয়োজন হয় না। এই বিক্রিয়াটি কার্বন ডাই অক্সাইডের সংবন্ধন (fixation) এবং বিজারণ (reduction) ক্রিয়ার দ্বারা সম্পন্ন হয়।

ক্যালভিন (Calvin) এবং অন্যান্য সহকর্মীরা তেজষ্ক্রিয় কার্বন (^{14}C) দ্বারা ক্লোরেলা (*Chlorella*) এবং সিনেডেসমাস (*Scenedesmus*) নামক সবুজ শৈবালের উপর নানাবিধ পরীক্ষা করিয়া স্থির সিদ্ধান্তে উপনীত হইয়াছেন যে, বায়ুমণ্ডলস্থ কার্বন ডাই অক্সাইড উদ্ভিদ কোষে প্রবেশ করিবামাত্র কোষ-মধ্যস্থ রাইবিউলোজ 1-5 ডাই ফসফেট (ribulose 1-5 diphosphate) নামক 5-কার্বন বিশিষ্ট একটি শর্করার সহিত যুক্ত করিয়া দুই অণু 3-কার্বন বিশিষ্ট ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড (phosphoglyceric acid or PGA) প্রস্তুত করে। ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডই সালোকসংশ্লেষের প্রথম স্থায়ী যৌগ। আলোক বিক্রিয়ায় উৎপাদিত বিজারিত $NADP^+$ ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডের সহিত যুক্ত হইয়া ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড (phosphoglyceral-

dehyde) প্রস্তুত করে। এই বিক্রিয়ার প্রয়োজনীয় শক্তি আলোক বিক্রিয়ার উৎপাদিত ATP অণু হইতে ব্যবহৃত হয়। আলোক বিক্রিয়ার সহিত অন্ধকার বিক্রিয়ার এই একটি মাত্র যোগসূত্র।

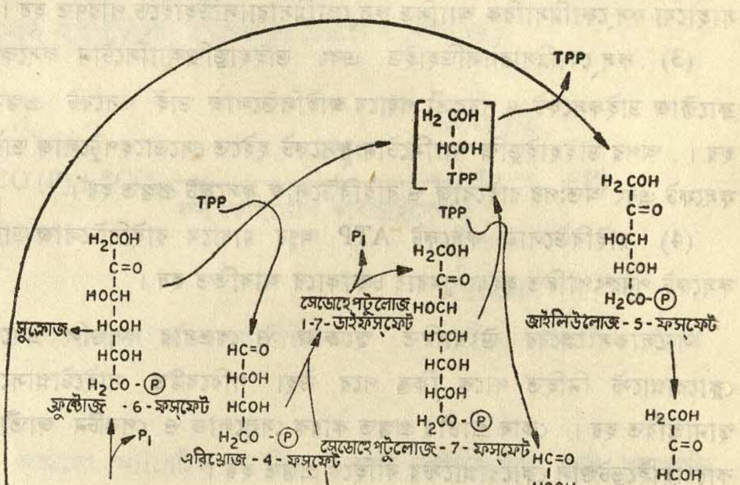
ক্যালভিন চক্র (Calvin Cycle) ঃ বায়ুমণ্ডলস্থ কার্বন ডাই অক্সাইডের সংবন্ধন ও তাহার বিজারণ প্রক্রিয়ার ধারাবাহিক বিক্রিয়াগুলি ক্যালভিন (Calvin), বেনসন (Benson) এবং ব্যাসাম (Bassham) তেজস্ক্রিয় কার্বন (^{14}C) অণুর ব্যবহারের সাহায্যে নিরুপন করেন।

বায়ুমণ্ডলস্থ কার্বন ডাই অক্সাইড কার্বক্সিডিসমিউটেজ বা রাইবিউলোজ ডাইফসফেট কার্বক্সিলেজ নামক উৎসেচকের প্রভাবে রাইবিউলোজ 1-5 ডাইফসফেটের সহিত যুক্ত হয়। কার্বন ডাই অক্সাইডের এই সংবন্ধনের পর একটি 6-কার্বন যুক্ত অস্থায়ী (unstable) যৌগের সৃষ্টি হয়। এই অস্থায়ী



যৌগটি জলের সহিত যুক্ত হইয়া দুইটি ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড অণুর সৃষ্টি করে। ফস্‌ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড পরবর্তী পর্যায়ে ATP ও বিজারিত $NADP^+$ (আলোক বিক্রিয়ায় উৎপাদিত) সাহায্যে ফসফোগ্লিসার‍্যাল-ডিহাইড প্রস্তুত করে। ট্রায়োজ ফস্‌ফেট আইসোমারেজ উৎসেচকের প্রভাবে 3-ফস্‌ফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফস্‌ফেটে (dihydroxy acetone phosphate) রূপান্তরিত হয়। উপরোক্ত দুইটি যৌগ 3-কার্বন বিশিষ্ট বলিয়া ইহাদের ট্রায়োজ ফস্‌ফেটও বলা হয়। ট্রায়োজ ফস্‌ফেট যৌগ দুইটি অ্যালডোলেজ উৎসেচকের সাহায্যে ফ্রাক্টোজ 1-6 ডাইফসফেটে পরিণত হয়। ফ্রাক্টোজ ডাইফসফেট ফসফটেজ উৎসেচকের সাহায্যে ফ্রাক্টোজ 6-ফসফেট প্রস্তুত করে। এই ফ্রাক্টোজ 6-ফসফেট পরবর্তী পর্যায়ে গ্লুকোজ 6-ফসফেট এবং সুক্রোজ উৎপন্ন হয়। সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিতে কার্বন ডাই

অক্সাইড উপরোক্ত পদ্ধতিতে কার্বোহাইড্রেট জাতীয় শর্করা প্রস্তুত হয়। ট্রায়োজ ফসফেট যৌগগুলি অবশেষে 4-কার্বন বিশিষ্ট এরিথ্রোজ 4-ফসফেট, 7-কার্বনবিশিষ্ট সেডোহেপটুলোজ 1-7 ডাইফসফেট এবং 5-কার্বন বিশিষ্ট রাইবোজ ও রাইবিউলোজ 5-ফসফেটের মাধ্যমে কার্বন ডাই অক্সাইড গ্রহীতা



চিত্র-41 : কেলভিন চক্র। সালোকসংশ্লেষে কার্বন ডাই অক্সাইডের সংবন্ধন ও ফ্রুক্টোজ প্রস্তুতিতে ঐ কার্বনের গতিপথ দেখানো হইয়াছে।

রাইবিউলোজ 1-5 ডাইফসফেট যৌগ পুনরুৎপাদিত করে। (চিত্র-41)। এই চক্রকে **ক্যালভিন চক্র** বলে।

ক্যালভিন চক্রকে চারিটি পর্যায়ে বিভক্ত করা হইয়াছে :

(1) কার্বন ডাই অক্সাইড রাইবিউলোজ ডাই ফসফেটের সাহায্যে যুক্ত হইয়া দুইটি অণু ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

(2) আলোক বিক্রিয়ার উৎপন্ন ATP এবং বিজারিত NADP⁺-র সাহায্যে ফস্‌ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড ফস্‌ফোগ্লিসার‍্যালডিহাইডে পরিণত হয়।

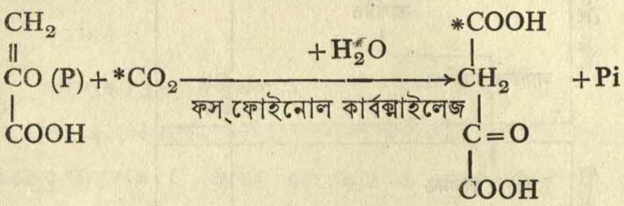
(3) ফস্‌ফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড এবং ডাইহাড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট ফ্রাক্টোজ ডাইফসফেট ও পরবর্তী পর্যায়ে জাইলিউলোজ ডাই ফসফেট প্রস্তুত হয়। অপর ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট হইতে সেডোহেপটুলোজ ডাই ফসফেট এবং অতঃপর রাইবোজ ও রাইবিউলোজ ফসফেট প্রস্তুত হয়।

(4) রাইবিউলোজ ফসফেট ATP অণুর মাধ্যমে রাইবিউলোজ ডাই ফসফেট পুনরুৎপাদিত হইয়া পুনরায় চক্রাকারে আবর্তিত হয়।

সালোকসংশ্লেষের উৎপাদিত সুক্রোজ ও শ্বেতসার অণুগুলি প্রথমে ক্লোরোপ্লাস্টে নিহিত থাকে কিন্তু পরে উহা পরিবেষ্টিত সাইটোপ্লাসমে স্থানান্তরিত হয়। কোষ প্রাচীর প্রস্তুত কারক সেলুলোজ ও পেকটিন জাতীয় কার্বোহাইড্রেটগুলি ক্লোরোপ্লাস্টের বাহিরে প্রস্তুত হয়।

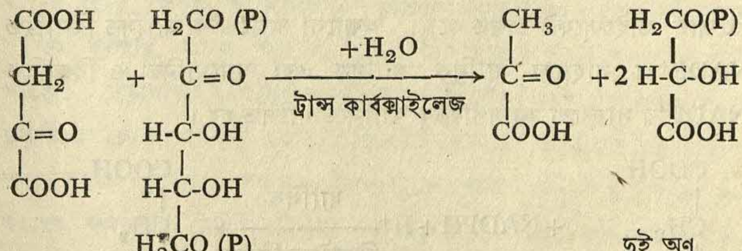
হ্যাচ্‌ এবং স্ল্যাক্‌ কার্বন সংবন্ধন পদ্ধতি (Hatch and Slack carbon fixation mechanism) ঃ অতি সাম্প্রতিকাল ব্যতীত ক্যালভিন চক্রকেই কার্বন ডাই অক্সাইড সংবন্ধনের একমাত্র সম্ভাব্য পথ রূপে গণ্য করা হইত। 1965 খৃষ্টাব্দে হুগো কর্টসচক্‌ (Hugo Kortschak), হার্ট (Hartt) এবং জর্জ বুর (George Burr) তেজস্ক্রিয় কার্বন (^{14}C) দ্বারা প্রমাণ করিয়াছেন যে, আখ গাছের পাতায় কার্বন ডাই অক্সাইড সংবন্ধনের সঙ্গে সঙ্গে তেজস্ক্রিয় কার্বনের প্রাবল্য 4-কার্বন বিশিষ্ট ম্যালিক ও অ্যাসপারটিক অ্যাসিডে পরিলক্ষিত হয়। এদের এই পরীক্ষা দ্বারা আরও প্রমাণিত হয় যে, ফসফেগ্লিসারিক অ্যাসিড সালোকসংশ্লেষের প্রথম উৎপাদক নয়। উপরোক্ত বৈজ্ঞানিকদের অভিমত 1966 খৃষ্টাব্দে হ্যাচ (Hatch) এবং স্ল্যাক্‌ (Slack) সুদৃঢ় ভাবে সমর্থন করেন। গ্রামিনী (Graminae) জাতীয় বেশ কয়েকটি এক বীজপত্রী ও কতিপয় দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদে এই প্রকার কার্বন সংবন্ধন পদ্ধতি পরিলক্ষিত হয়। এই জাতীয় উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষকারী কোষ নালিকা বাণ্ডিলের (vascular bundle) চতুর্দিকে পরিবেষ্টিত হইয়া থাকে।

কার্বন ডাই অক্সাইডের এই বিকল্প সংবন্ধন পদ্ধতি **হ্যাচ্ এবং স্ল্যাক্ কার্বন সংবন্ধন পথ** নামে অভিহিত। এই পথে কার্বন ডাই অক্সাইড ফস্‌ফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিডে যুক্ত হইয়া একটি 4-কার্বন বিশিষ্ট দ্বিকার্বক্সাইলিক অ্যাসিডে অর্থাৎ অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এই বিক্রিয়াটি ফস্‌ফোইনোল কার্বক্সাইলেজ উৎসেচকের প্রভাবে সংঘটিত হয়।



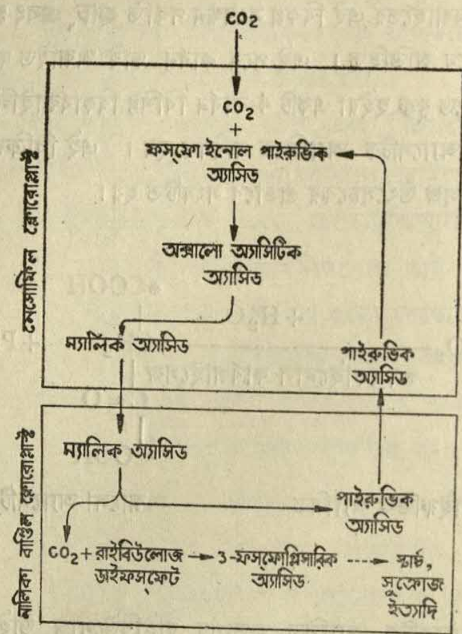
ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড

অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড অতঃপর রাইবিউলোজ ডাই ফস্‌ফেটের সহিত বিক্রিয়া করিয়া পাইরুভিক অ্যাসিড ও দুই অণু ফস্‌ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড প্রস্তুত করে। এই বিক্রিয়াটি ট্রান্স কার্বক্সাইলেজ উৎসেচক দ্বারা সংঘটিত হয়।



দুই অণু

অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড — রাইবিউলোজ ডাইফস্‌ফেট — পাইরুভিক অ্যাসিড — ফস্‌ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড



চিত্র-42 : হ্যাচ ও স্ল্যাকের কার্বন ডাই অক্সাইড সংবন্ধন পদ্ধতি। মেসোফিল ও নালিকা বাণ্ডিল ক্লোরোপ্লাস্টের বিক্রিয়াগুলি পৃথক ভাবে দেখানো হইয়াছে।

ফস্ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড পরবর্তী পর্যায়ে ক্যালভিন চক্রের সাহায্যে হেক্সোজ ডাইফস্ফেট প্রস্তুত করে। অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড বিজারিত $NADP^+$-র সাহায্যে ম্যালিক অ্যাসিড এবং অ্যামোনিয়া ও বিজারিত $NADP^+$র সাহায্যে অ্যাসপারটিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ C=O \\ | \\ COOH \end{array} + NADPH + H^+ \xrightarrow[\text{ডিহাইড্রোজিনেজ}]{\text{ম্যালিক}} \begin{array}{l} COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ H\text{-}C\text{-}OH \\ | \\ COOH \end{array}$$

অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড ম্যালিক অ্যাসিড

$$\begin{array}{c} COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ C=O \\ | \\ COOH \end{array} + NH_3 + NADPH + H^+ \xrightarrow[\text{ডিহাইড্রোজিনেজ}]{\text{অক্সালো অ্যাসেটিক}} \begin{array}{c} COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CHNH_2 \\ | \\ COOH \end{array} + H_2O$$

অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড — অ্যাসপারটিক অ্যাসিড

সালোকসংশ্লেষের প্রথম উৎপাদিত যৌগ ও-কার্বনবিশিষ্ট ফস্ফোগ্লিসারিক অ্যাসিড এবং 4-কার্বন বিশিষ্ট অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিড হিসাবে ক্যালভিন চক্রের উদ্ভিদকে C_3-উদ্ভিদ এবং হ্যাচ্ ও স্ল্যাক পথের উদ্ভিদকে C_4-উদ্ভিদ বলা হয়। সাধারণভাবে C_4-উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষ ক্ষমতা C_3-উদ্ভিদ অপেক্ষা নিম্নলিখিত কারণে অনেক বেশী।

C_4-উদ্ভিদের সর্বাপেক্ষা অনুকূল উষ্ণতা (32-45°C) C_3-উদ্ভিদ অপেক্ষা বেশী। ফস্ফোইনোল কার্বক্সাইলেজ রাইবিউলোজ কার্বক্সাইলেজ উৎসেচক অপেক্ষা বেশী কার্যকারী হওয়ায় C_4-উদ্ভিদেরা কম কার্বন ডাই অক্সাইড ঘনত্বে সালোকসংশ্লেষে সক্ষম। অক্সিজেনের উপস্থিতি C_4-উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষে বাধা প্রদান করে না; কিন্তু C_3-উদ্ভিদের ক্ষেত্রে কোষে শতকরা 1 ভাগের উপর অক্সিজেন উপস্থিত থাকিলে সালোকসংশ্লেষে বাধা প্রদান করিয়া থাকে। C_4-উদ্ভিদের ক্ষেত্রে আলোকশ্বসন (photorespiration) সম্পূর্ণ অনুপস্থিত বা কম হওয়ায়, কার্বন অণুগুলি বিভিন্ন বিপাকীয় কার্য্যে অংশ গ্রহণ করিয়া থাকে। সর্বোপরি C_4-উদ্ভিদের নালিকা বাণ্ডিলের (vascular bundles) চতুর্দিকে ক্লোরোপ্লাস্টযুক্ত কোষ পরিবেষ্টিত থাকায় কার্বোহাইড্রেট জাতীয় পদার্থ সহজ পরিবহনে সক্ষম। উপোরোক্ত কারণে C_4-উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষ ক্ষমতা C_3-উদ্ভিদ অপেক্ষা অনেকাংশে বেশী এবং এই কারণে কৃষিক্ষেত্রেও ইহাদের প্রয়োজনীয় ভূমিকা উল্লেখযোগ্য।

রাসায়নিক সংশ্লেষ (Chemosynthesis) ঃ খাদ্যপ্রস্তুত উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদের একচেটিয়া অধিকার নয়। উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদেরা সাধারণতঃ সূর্য্যের আলোকে সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিতে খাদ্য প্রস্তুত করে। ব্যাক্টিরিয়া শ্রেণীর নিম্ন উদ্ভিদেরা সূর্যের আলোক ব্যতীত খাদ্য প্রস্তুত করিতে পারে। ইহারা বিভিন্ন রাসায়নিক

বস্তু জারণ করিয়া শক্তি উৎপাদন করে এবং ঐ শক্তি খাদ্য প্রস্তুত করিতে অংশ গ্রহণ করে। রাসায়নিক বস্তু জারণ করিয়া খাদ্য প্রস্তুত প্রণালীকে **রাসায়নিক সংশ্লেষ** (Chemosynthesis) বলা হয়। রাসায়নিক সংশ্লেষকারী ব্যাক্‌টিরিয়া নিম্নলিখিত কয়েকটি ভাগে বিভক্ত।

1. **নাইট্রিফাইং ব্যাক্‌টিরিয়া** (Nitrifying bacteria) : রাসায়নিক সংশ্লেষকারী জীবের মধ্যে নাইট্রিফাইং ব্যাক্‌টিরিয়ার নাম বিশেষ উল্লেখযোগ্য। এই শ্রেণীর ব্যাক্‌টিরিয়াগুলি সবাত এবং বর্ণহীন। 1889 খৃষ্টাব্দে উইনোগ্রাডস্কি (Winogradsky) সর্বপ্রথম দুই শ্রেণীর নাইট্রিফাইং ব্যাক্‌টিরিয়ার কথা উল্লেখ করেণ। (ক) নাইট্রোসোমনাস (*Nitrosomonas*), নাইট্রোসোসিষ্টিস্ (*Nitrosocystis*), নাইট্রোসোস্পাইরা (*Nitrosospira*) ইত্যাদি এবং (খ) নাইট্রোব্যাক্‌টর (*Nitrobacter*)।

প্রথম শ্রেণীর ব্যাক্‌টিরিয়াগুলি সচল কক্কি (cocci) জাতীয় এবং ইহারা অ্যামোনিয়াম আয়ণকে (NH_4^+) জারিত করিয়া নাইট্রাইটে (NO_2^-) পরিণত করে।

$$NH_4^+ + 1\tfrac{1}{2}O_2 \xrightarrow{\text{নাইট্রোসোমনাস}} NO_2^- + H_2O + 2H^+ + 66 \text{ কিলো ক্যালরি}$$

দ্বিতীয় শ্রেণীর ব্যাক্‌টিরিয়া নাইট্রাইটকে নাইট্রেটে (NO_3^-) পরিণত করে।

$$NO_2^- + \tfrac{1}{2}O_2 \xrightarrow{\text{নাইট্রোব্যাকটর}} NO_3^- + 17{\cdot}5 \text{ কিলো ক্যালরি}$$

নাইট্রোজেন ঘটিত জৈব যৌগের জারণ প্রক্রিয়ায় উৎপাদিত শক্তি কার্বন ডাই অক্সাইডের কার্বনকে বিজারিত করিয়া খাদ্য প্রস্তুত করিয়া থাকে।

2. **বর্ণহীন সালফার ব্যাক্‌টিরিয়া** (Colourless sulphur bacteria) : নাইট্রিফাইং ব্যাক্‌টিরিয়ার ন্যায় বর্ণহীন সালফার ব্যাক্‌টিরিয়া বিজারিত সালফার যৌগকে জারিত করিয়া শক্তি উৎপাদন করে। বিগটিয়া (*Beggiatoa*), থায়োব্যাসিলাস্ (*Thiobacillus*), থায়োথ্রিক্স (*Thiothrix*) প্রভৃতি সালফার ব্যাক্‌টিরিয়া স্বাভাবিক উষ্ণ প্রস্রবণে বাস করে এবং হাইড্রোজেন

সালফাইডকে (H_2S) দুইটি পর্যায়ে জারিত করিয়া সালফিউরিক অ্যাসিডে পরিণত করে।

$$2H_2S+O_2 \longrightarrow 2H_2O+2S+83 \text{ কিলো ক্যালরি}$$

$$2S+2H_2O+3O_2 \longrightarrow 2H_2SO_4+236 \text{ কিলো ক্যালরি}$$

এই রাসায়নিক শক্তিই পরবর্তী পর্যায়ে কার্বন ডাই অক্সাইডের সহিত যুক্ত হইয়া খাদ্য প্রস্তুত করে।

3. **লৌহ ব্যাক্টিরিয়া** (Iron bacteria) : জলে বসবাসকারী বিভিন্ন প্রকার লৌহ ব্যাক্টিরিয়া পরিলক্ষিত হয়। লেপ্টোথ্রিক্স (*Leptothrix*), ফেরোব্যাসিলাস্ (*Ferrobacillus*) প্রভৃতি স্বভোজী লৌহ ব্যাক্টিরিয়া জলের ফেরাস লৌহকে ফেরিক আয়রণে রূপান্তরিত করে। এই ব্যাক্টিরিয়া গুলি জলে বসবাস করিয়া জলকে রঞ্জিত (লাল) করিয়া রাখে। এই ব্যাক্টিরিয়া দ্বারা ফেরাস কার্বনেটকে জারিত করিয়া শক্তি উৎপাদন করে। উৎপাদিত শক্তির কিয়দাংশ খাদ্যপ্রস্তুতে সাহায্য করে।

$$4FeCO_3+O_2+6H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3+4CO_2+81 \text{ কিলো ক্যালরি}$$

4. **হাইড্রোজেন ব্যাক্টিরিয়া** (Hydrogen bacteria) : এই ব্যাক্টিরিয়াগুলি মাটিতে পরভোজী জীব রূপে বসবাস করে এবং হাইড্রোজেনকে জারিত করিয়া জল প্রস্তুত করে। হাইড্রোজেনমনাস (*Hydrogenomonas*) হাইড্রোজেন ব্যাক্টিরিয়ার উদাহরণ।

$$H_2+\tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow H_2O+56 \text{ কিলো ক্যালরি}$$

সমস্ত রাসায়নিক সংশ্লেষকারী ব্যাক্টিরিয়া সবাত এবং নির্দিষ্ট অজৈব যৌগকে জারিত করিয়া শক্তি উৎপাদন করে।

সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্টিরিয়া (Photosynthetic bacteria) : সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্টিরিয়া তিনটি শ্রেণীতে বিভক্ত। ক্লোরোবিয়াম (*Chlorobium*) নামক সবুজ ব্যাক্টিরিয়া, ক্রোম্যাটিয়াম (*Chromatium*) নামক নীল-লোহিত সালফার ব্যাক্টিরিয়া (purple sulphur bacteria)

এবং রোডোস্পাইরুলাম (*Rhodospirillum*) এবং রোডোসিউডোমনাস (*Rhodopseudomonas*) নামক নীল-লোহিত সালফারবিহীন ব্যাক্টিরিয়া (purple non-sulphur bacteria) ইহাদের অন্তর্ভুক্ত। সবুজ ও নীল-লোহিত সালফার ব্যাক্টিরিয়াগুলি প্রাথমিকভাবে স্বভোজী এবং সালোক-সংশ্লেষে কার্বন ডাই অক্সাইড বিজারিত করিতে অজৈব সালফার যৌগ (H_2S) ইলেক্ট্রন দাতার কার্য করে। অপরপক্ষে, নীল-লোহিত সালফারবিহীন ব্যাক্টিরিয়া আলোক পরভোজী (photo heterotrophic) এবং H_2S এর পরিবর্তে ম্যালিক বা সাক্সিনিক অ্যাসিড ব্যবহার করে। ক্যারটিনয়েড, ব্যাক্টিরিও ক্লোরোফিল এবং ক্লোরোবিয়াম ক্লোরোফিল প্রভৃতি রঞ্জক পদার্থগুলি উপোরোক্ত ব্যাক্টিরিয়াগুলির আলোক রসায়ন বিক্রিয়ায় কার্যকারী হয়।

1935 খৃষ্টাব্দে ফ্যন নীলের (van Niel) মতে সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্টিরিয়ার খাদ্য প্রস্তুত প্রণালী উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতির অনুরূপ। এক্ষেত্রে ইলেক্ট্রন দাতা জলের পরিবর্তে হাইড্রোজেন সালফাইড (H_2S)। ব্যাক্টিরিয়াকৃত সালোকসংশ্লেষের সাধারণ রাসায়নিক সমীকরণটি নিম্নরূপ।

$$CO_2 + 2H_2S \longrightarrow 2S + H_2O + (CH_2O)$$

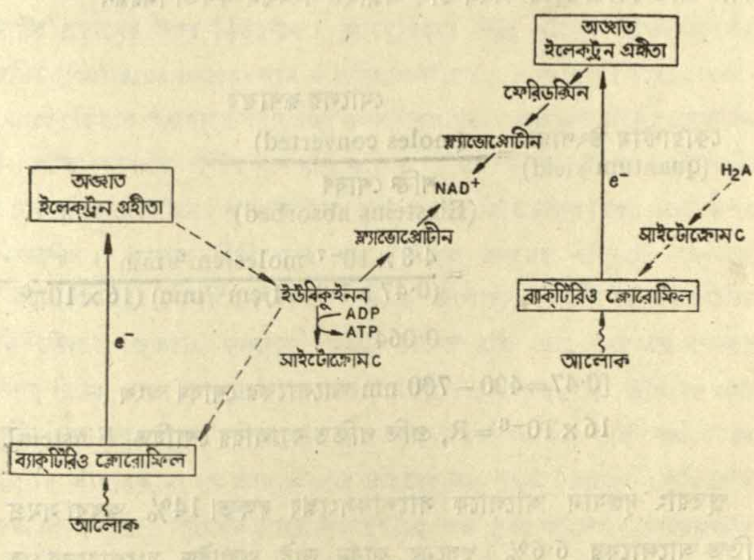
অথবা $$6CO_2 + 12H_2S \longrightarrow 12S + 6H_2O + C_6H_{12}O_6$$

উপরোক্ত সমীকরণে অক্সিজেনের পরিবর্তে সালফার এবং শক্তি নির্গত হয়। এই শক্তিই কার্বন ডাই অক্সাইডকে বিজারিত করিয়া খাদ্য প্রস্তুত করে। ব্যাক্টিরিয়াকৃত এবং সবুজ উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিতে ইলেক্ট্রনদাতার নিকট হইতে ইলেক্ট্রন গ্রহীতা অণুতে স্থানান্তরিত করে।

1940 খ্রীষ্টাব্দে গ্যাফ্রন (Gaffron) কতিপয় শৈবালে লক্ষ্য করেণ যে, এই সমস্ত শৈবালে কার্বন ডাই অক্সাইডের আলোক জারণ হাইড্রোজেন দ্বারা ঘটিয়া থাকে এবং সেক্ষেত্রে কোন অক্সিজেন নির্গত হয় না। পরবর্তী কালে দেখা গিয়াছে যে, এই সব ক্ষেত্রে আলোক বিজারণ একটি মাত্র রঞ্জক তন্ত্র (PS-I) দ্বারা সাধিত হয়। ব্যাক্টিরিয়াকৃত সালোকসংশ্লেষও একটি মাত্র রঞ্জক তন্ত্রের উপর নির্ভরশীল।

এঙ্গেলম্যান (Engelman) নামক বৈজ্ঞানিকের মতে ব্যাক্‌টিরিওক্লোরোফিল নামক রঞ্জক পদার্থটি উচ্চ শ্রেণীর ক্লোরোফিলের ন্যায় কার্য করে। উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদের P_{700} রঞ্জক পদার্থের ন্যায় ব্যাক্‌টিরিওক্লোরোফিলের জারণ-বিজারণ বিভব (redox potential) O·43 ভোল্ট এবং এক্ষেত্রেও প্রাথমিক ইলেকট্রন গ্রহীতা X (FRS)। অন্যান্য ইলেকট্রন গ্রহীতাগুলি ইউবিকুইনন (ubiquinone), ফেরিডক্সিন (ferredoxin) এবং NAD^+।

ব্যাক্‌টিরিয়াকৃত সালোকসংশ্লেষের ক্ষেত্রে কার্বন ডাই অক্সাইডের আলোক বিজারণ ও ফোটোফসফোরাইলেশন একই সঙ্গে সংঘটিত হয়। ওলসন(Olson) 1970 খ্রীষ্টাব্দে উল্লেখ করেন যে, উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদের ন্যায় ব্যাক্‌টিরিয়াকৃত সালোকসংশ্লেষও দুইটি রঞ্জক তন্ত্র দ্বারা সীমায়িত। তবে এক্ষেত্রে তন্ত্র দুইটি পর্যায়ক্রমিক (series) না হইয়া সমান্তরাল (parallel) ভাবে সংঘটিত হয়। এই রঞ্জক তন্ত্রটির একটি চক্রাকার ফোটোফসফোরাইলেশনের সহিত যুক্ত এবং অপরটি ইলেকট্রন দাতা হইতে গ্রহীতা অণুতে ইলেকট্রন স্থানান্তরণ পদ্ধতি (অচক্রাকার ইলেকট্রন স্থানান্তর)।



চিত্র-43 : বাক্‌টিরিয়া ও নিম্ন শ্রেণীর উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষের আলোক বিক্রিয়ায় ইলেকট্রনের স্থানান্তরণ ও দুইটি রঞ্জক তন্ত্র।

উপরোক্ত চিত্রে ব্যাকৃটিরিয়াকৃত সালোকসংশ্লেষের দুইটি রঞ্জক তন্ত্রে (সমান্তরাল) চিত্ররূপ দেখানো হইল। চক্রাকার পথের ইলেক্ট্রন ফ্ল্যাভো-প্রোটীনের মাধ্যমে NAD^+কে বিজারিত করে এবং ATP প্রস্তুত হয়।

সালোকসংশ্লেষীয় ফসল দক্ষতা (Photosynthetic crop efficiency) : সালোকসংশ্লেষীয় ফসল দক্ষতা সময়ের মানদণ্ডের (time scale) উপর নির্ভরশীল। উজ্জ্বল গ্রীষ্মের 24 ঘণ্টাব্যাপী উদ্ভিদের সমগ্র বৃদ্ধি, কাল অথবা সমগ্র বৎসরের সালোকসংশ্লেষের উপর এই মান নির্ভর করে।

সূর্য হইতে যে সৌরশক্তি পৃথিবীতে পতিত হয় তাহার প্রগাঢ়তা (intensity) মিনিটে 1·6 $cal/cm^2/min$। ইহার শতকরা 47 ভাগ দৃশ্যমান আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে (400—700 nm) এবং সালোকসংশ্লেষে কার্যকারী।

1·0 $cal/cm^2/min$ আলোক প্রগাঢ়তায় ভূট্টা গাছ $0{\cdot}3\times10^{-6} g/cm^2/sec$ কার্বন ডাই অক্সাইড গ্রহণ করে। শ্বসনের সহিত সংশোধনের পর রূপান্তরিত কার্বন ডাই অক্সাইড মোলের পরিমাণ $4{\cdot}8\times10^{-7}$ moles $CO_2/cm^2/min$। সুতরাং উপরোক্ত তথ্যানুযায়ী কোয়াণ্টাম উৎপাদন (quantum yield) অর্থাৎ প্রতি কোয়াণ্টামে কার্বন ডাই অক্সাইড সংবন্ধন ক্ষমতা নিম্নরূপ

$$\text{কোয়াণ্টাম উৎপাদন (quantum yield)} = \frac{\text{মোলের রূপান্তর (moles converted)}}{\text{শক্তি শোষণ (Einsteins absorbed)}}$$

$$= \frac{4{\cdot}8\times10^{-7}\ \text{moles/cm}^2\text{/min}}{(0{\cdot}47\times1{\cdot}0\ \text{cal/cm}^2\text{/min})\ (16\times10^{-6}}$$

$$= 0{\cdot}064$$

[0·47=400 – 700 nm আলোকের শোষণ অংশ ;
16×10^{-6} = R, প্রতি পতিত ক্যালরির শোষিত Einstein]

সুতরাং দৃশ্যমান আলোকে সালোকসংশ্লেষ দক্ষতা 14% অথবা সমগ্র পতিত আলোকের 6·6%। শ্বসনের কার্বন ডাই অক্সাইড সংশোধনের পর সালোকসংশ্লেষের দক্ষতা শতকরা 3-4·5 ভাগ। তথ্যানুযায়ী ভূট্টাগাছে

সমগ্র পতিত আলোক দিনে 500 cal/cm^2 হইলে এবং কার্বনের শ্বসন হ্রাস শতকরা 33 ভাগ ধার্য করিলে, সালোকসংশ্লেষে মূল কার্বন লাভ 20g C/m^2/day।

সালোকসংশ্লেষের দক্ষতা কোষ মধ্যস্থিত জল সীমিত উষ্ণতা এবং কার্বন ডাই অক্সাইড, খনিজ লবণের অভাব এবং রোগ জনিত প্রভাবের উপর প্রভাবান্বিত। অনাবৃত জমিতে আচ্ছাদিত জমি অপেক্ষা সালোকসংশ্লেষের দক্ষতা বেশী। ঋতু অনুযায়ী কার্বন সংবন্ধন সীমিত হওয়ায় সালোকসংশ্লেষ দক্ষতার ভিন্নতা পরিলক্ষিত হয়।

সমস্ত ক্ষতির খতিয়ান করিয়া শুষ্ক ওজনের বৃদ্ধিকে ফসল উৎপাদনের হার হিসাবে গণ্য করিলে দেখা যায় যে, গ্রহণ যোগ্য আলোকের শতকরা 1 ভাগ রাসায়নিক শক্তিতে সালোকসংশ্লেষে রূপান্তরিত করে। উপরন্তু এই শুষ্ক ওজনের কিয়দাংশ খাদ্যের জন্য ব্যবহৃত হওয়ায় শক্তি সংগ্রহ (energy harvest) শতকরা 0·2—0·5 ভাগ।

উদ্ভিদের এই শক্তি সংগ্রহ ক্ষমতা উদ্ভিদের বৃদ্ধি, স্বভাব, আবহাওয়া এবং মাটির প্রভাবের উপর নির্ভরশীল। আমেরিকায় ভূট্টা গাছের পাতা-আয়তন স্থচির (leaf area index) মান 4 পরিলক্ষিত হয়। গননাকারী যন্ত্রের (computer) হিসাব অনুসারে সর্বাপেক্ষা ফসল উৎপাদনের জন্য এই মানের প্রয়োজন 8। পাতা-আয়তন স্থচির মাণ বৃদ্ধি করিতে গাছের পাতার উল্লম্ব (vertical) ভাবে বৃদ্ধির প্রয়োজন। পাতার উল্লম্ব বৃদ্ধি গাছের নিবিড়তার (density) উপর নির্ভরশীল। গাছের নিবিড়তার জন্য শ্রেণীবদ্ধ বপনের পরিবর্তে সমদূরত্বে (equidistant) বপন প্রয়োজন। ভূট্টার উৎপাদন ভূট্টাবীজের বৃদ্ধির উপর নির্ভরশীল। স্থতরাং ফসলের দক্ষতা তাদের বৃদ্ধি এবং সমদূরত্বে বপনের উপর নির্ভর করে (ইহাতে পাতা-আয়তন স্থচিরও বৃদ্ধি হয়)। উদ্ভিদের দ্রুত বৃদ্ধির জন্য এবং যাহাতে পত্ররন্ধ্রের ছিদ্র বন্ধ হইয়া কার্বন ডাই অক্সাইডের ব্যাপন সীমাবদ্ধ না হয় তাহার জন্যে উদ্ভিদের জল পীড়ন (stress) পরিত্যাগ করা প্রয়োজন। সর্বাধিক সালোকসংশ্লেষের জন্য প্রখর আলোকে পত্ররন্ধ্রগুলি মুক্ত থাকা প্রয়োজন। অনেক সময় প্রখর আলোকে প্রাকৃতিক কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিমাণ সালোকসংশ্লেষের নিয়ন্ত্রণকারী প্রভাবের কার্য করে। তাই

এই সব ক্ষেত্রে কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিমাণ শতকরা 0·5 ভাগ বৃদ্ধি করিলে সালোকসংশ্লেষের উৎপাদনও বৃদ্ধি পায়।

আলোকশ্বসন (Photorespiration) : বিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগ পর্যন্ত উদ্ভিদ, প্রাণী ও ব্যাকৃটিরিয়ায় "অন্ধকার" শ্বসনই প্রধাণতঃ পরিলক্ষিত হয়। এর ফলে বৈজ্ঞানিকদের সাধারণ ধারণা ছিল যে সবুজ উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষের সময়ে শ্বসনের পরিমাণ অন্ধকারে শ্বসনের পরিমাণের সমান। 1955 এবং 1959 খৃষ্টাব্দে ডেকার (Decker) সর্বপ্রথম তামাক, (tobacco), মাইমুলাস (*Mimulus*) প্রভৃতি সবুজ উদ্ভিদে পরীক্ষা করিয়া শ্বসনের কতিপয় আকর্ষণীয় ফল লক্ষ্য করেন। তিনি তামাক গাছে বিশেষভাবে লক্ষ্য করেন যে, সালোকসংশ্লেষীয় পরিবেশে উদ্ভিদের শ্বসনের পরিমাণ অন্ধকার পরিবেশ অপেক্ষা অধিক মাত্রায় পরিলক্ষিত হয়। ঐ সমস্ত উদ্ভিদে আলোকের উপস্থিতিতে অক্সিজেন গ্রহণ এবং কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিত্যাগ (নির্গমণ) উভয়ই বৃদ্ধি পায়। আলোকের উপস্থিতিতে উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষকারী অঙ্গে শ্বসনের বৃদ্ধির ফলে অধিক কার্বন ডাই অক্সাইড নির্গত হয়। এই পদ্ধতিকে **আলোকশ্বসন** (photorespiration) বলা হয়।

কতিপয় উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষের দক্ষতা তাহাদের আলোকশ্বসনের উপর নির্ভরশীল। সাধারণভাবে উষ্ণ অঞ্চলের (tropical) উদ্ভিদের ক্ষেত্রে নাতিশীতোষ্ণ (temperate) অঞ্চলের উদ্ভিদ অপেক্ষা প্রায় চারগুণ বেশী সালোকসংশ্লেষ পরিলক্ষিত হয়।

আলোকশ্বসনকারী উদ্ভিদকে (যেমন তামাক পাতায়) আলোক হইতে অন্ধকারে স্থানান্তর করিলে অকস্মাৎ ক্ষণকাল অধিক কার্বন ডাই অক্সাইড নির্গত হইয়া, ইহার হার স্থিতি হয়। এই অধিক কার্বন ডাই অক্সাইডের নির্গমন উদ্ভিদের আলোকশ্বসন প্রক্রিয়ার ফলে ঘটিয়াছে। আলোকশ্বসম বিহীন উদ্ভিদে কার্বন ডাই অক্সাইডের এই বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয় না। ফরেস্টার (Forrester) 1966 খ্রীষ্টাব্দে সয়াবিন (soybean) পাতায় ঐ একই ফল লক্ষ্য করেন। সালোকসংশ্লেষকারী কোষে আলোকের উপস্থিতিতে আলোকশ্বসন প্রক্রিয়া সম্পন্ন হয়। সুতরাং আলোকশ্বসনকারী উদ্ভিদে পরিব্যক্তি (mutation) প্রক্রিয়ায় তাহাদের ক্লোরোফিল সংশ্লেষ নষ্ট করিলে আলোকশ্বসন বন্ধ হইয়া যায়। সূর্যমুখীর ক্লোরোফিলবিহীন পরিব্যক্ত পাতায় আলোক-

শ্বসন ঘটে না এবং আলোক ও অন্ধকারে কার্বন ডাই অক্সাইড নির্গমনের পরিমাণ সমান থাকে। অপরপক্ষে, ঐ একই উদ্ভিদের সাধারণ পাতায় আলোকশ্বসন পরিলক্ষিত হয়।

ভূট্টা প্রভৃতি আলোকশ্বসনবিহীন উদ্ভিদে DCMU নামক সালোকসংশ্লেষ প্রতিবন্ধক (inhibitor) ব্যবহারে আলোকের উপস্থিতিতে কার্বন ডাই অক্সাইড নির্গত হইয়া থাকে। উপোরোক্ত ব্যাখ্যা হইতে উদ্ভিদে আলোকশ্বসন প্রক্রিয়ার অস্তিত্ব নিশ্চিতভাবে প্রমাণিত হইয়াছে।

আলোকশ্বসনকে এককথায় সালোকসংশ্লেষের সম্প্রসারক (adjunct) বলা যায়। বৈজ্ঞানিকদের বিভিন্ন ব্যাখ্যা হইতে ইহা নিশ্চিত প্রমাণিত হয় যে, আলোকশ্বসন উদ্ভিদের ক্লোরোপ্লাস্ট নামক কোষস্থ অঙ্গে সম্পাদিত হয়। 1966 খৃষ্টাব্দে মুলেনহুয়ের (Mollenhauer) এবং আরও অনেকে ক্লোরোপ্লাস্টের মধ্যে "পারক্সিসোম্" (peroxisomes) নামক একপ্রকার বিশেষ কোষ-অঙ্গ লক্ষ্য করেন এবং আলোকশ্বসনের প্রধান কার্যস্থল(site) রূপে গণ্য করেন। পারক্সিসোম ক্লোরোপ্লাস্টের সঙ্গে যুক্ত ক্ষুদ্র অঙ্গ বিশেষ। গ্লাইকোলেট (glycollate) বিপাকের অধিকাংশ উৎসেচক পারক্সিসোমে উপস্থিত। ক্লোরোপ্লাস্ট ও পারক্সিসোম অঙ্গ দুইটি পরস্পর জড়িত থাকায় উৎসেচক, খনিজ লবণ, সাবস্ট্রেট এবং বিক্রিয়ার উৎপাদিত ফলগুলি উভয় অঙ্গের মধ্যে আদান প্রদান করিতে পারে। উদ্ভিদ কোষ ব্যতীত অনেক প্রাণীকোষেও পারক্সিসোজ নামক কোষস্থ অঙ্গ পরিলক্ষিত হয়।

ক্যালভিন চক্রের ফসফেটযুক্ত হেক্সোজ হইতে 2-কার্বন বিশিষ্ট, ফস্ফোগ্লাইকলেট (phosphoglycolate) প্রস্তুত হয় ('ক্যালভিন চক্র' দ্রষ্টব্য)। ফস্ফেটেজ উৎসেচকের প্রভাবে ফসফোগ্লাইকলেট গ্লাইকলেটে (glycollate) পরিণত হয়। জেলিচের (Zelitch, 1964) মতে গ্লাইকলেট হইতে আলোক-শ্বসনে কার্বন ডাই অক্সাইড নিম্নোক্ত প্রক্রিয়ায় নির্গত হয়।

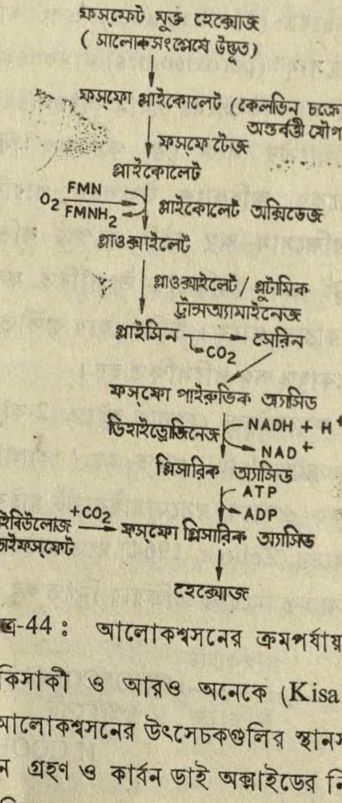
$$CH_2OH^*COOH + O_2 \xrightarrow[\text{অক্সিডেজ}]{\text{গ্লাইকলেট}} \underset{\text{গ্লাওক্সাইলেট}}{CHO^*COOH} + H\ O_2 \longleftarrow$$

গ্লাইকলেট

$$H\ COOH + {}^*CO_2 + H_2O$$

সালোকসংশ্লেষের সময় গ্লাইকলেট প্রস্তুত কোষে স্বল্প কার্বন ডাই অক্সাইড

এবং অধিক অক্সিজেনের পরিমাণ ও অধিক আলোক প্রখরতার উপর নির্ভরশীল। অক্সিজেনের উপস্থিতিতে গ্লাইকলেট জারিত হইয়া গ্লাওক্সাইলেটে (glyoxylate) পরিণত হয়। এই গ্লাওক্সাইলেট পরবর্তী পর্যায়ে গ্লাইসিন এবং অতঃপর কার্বন ডাই অক্সাইড যুক্ত হইয়া সেরিণ প্রস্তুত হয়। কিসাকী ও টলবার্ট (Kisaki and Tolbert) 1969 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, গ্লাইকলেট হইতে গ্লাওক্সাইলেটের জারণ পারক্সিসোমে এবং গ্লাওক্সাইলেট হইতে কার্বন ডাই অক্সাইডের জারণ ক্লোরোপ্লাস্টে সাধিত হয়। গ্লাইসিনের দুইটি অণু বিক্রিয়া ঘটাইয়া সেরিণ ও কার্বন ডাই অক্সাইড নির্গত করে। এই কার্বন ডাই অক্সাইড-ই আলোকশ্বসনের উদ্ভূত ফল। আলোকশ্বসনের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি গ্লাইকলেট পথের (glycolate pathway) অনুরূপ।



চিত্র-44 : আলোকশ্বসনের ক্রমপর্যায়।

1971 খৃষ্টাব্দে কিসাকী ও আরও অনেকে (Kisaki *et al*) তামাক ও পালং পাতার কোষ আলোকশ্বসনের উৎসেচকগুলির স্থানসীমা নির্দেশ করেন। তাঁদের মতে অক্সিজেন গ্রহণ ও কার্বন ডাই অক্সাইডের নির্গমন কোষের দুইটি বিভিন্ন কোষ অঙ্গে সাধিত হয় এবং গ্লাইসিন কার্বন মুক্ত হইয়া সেরিণে পরিণত

হয় মাইটোকন্ড্রিয়াতে (চিত্র—44)। গ্লাইকলেট জারণের ফলে উদ্ভূত H_2O_2 পারক্সিজোমাল ক্যাটালেজের প্রভাবে পুনরায় ভাঙ্গিয়া যায় এবং মাইটোকন্ড্রিয়াতে সেরিণ প্রস্তুত হইবার পর পুনরায় পারক্সিসোমে ফিরিয়া আসে। অপরপক্ষে, গ্লাইসিন ডিকার্বক্সিলেজ উৎসেচকটি একমাত্র মাইটোক্নড্রিয়াতেই উপস্থিত।

কিসাকী (Kisaki, 1973)-র মতে উদ্ভিদের বৃদ্ধ ও পরিপক্ক পাতা অপেক্ষা কচি পাতায় আলোকশ্বসন প্রক্রিয়া বেশী পরিলক্ষিত হয়। আলোকশ্বসন সাধারণতঃ C_3-উদ্ভিদে পরিলক্ষিত হয়। 1973 খৃষ্টাব্দে কিসাকী (Kisaki) তামাক প্রভৃতি আলোকশ্বসনকারী উদ্ভিদের কচি পাতায় C_4-অ্যাসিড চক্র লক্ষ্য করেন। সুতরাং তাদের মতে আলোকশ্বসনকারী উদ্ভিদের সালোক-সংশ্লেষ দক্ষতা গ্লাইকলেট পথ ও C_4-অ্যাসিড চক্রের উপর নির্ভরশীল।

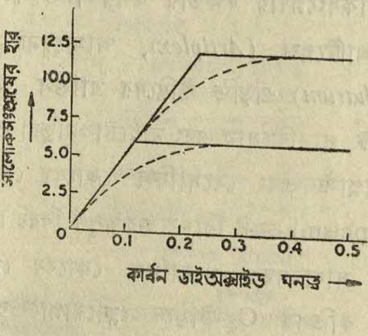
আলোকশ্বসনকারী উদ্ভিদের পাতা, নালিকা বাণ্ডিল পরিবেষ্টিত বাণ্ডিল আবরণী কোষ এবং কোষস্থ অঙ্গের গুরুত্বপূর্ণ বৈচিত্র পরিলক্ষিত হয়। নালিকা বাণ্ডিলের বাণ্ডিল আবরণী কোষগুলির উপস্থিতি বা অনুপস্থিতি আলোক-শ্বসন এবং সালোকসংশ্লেষীয় দক্ষতার উপর নির্ভরশীল। ব্ল্যাক (Black) 1971 খৃষ্টাব্দে আর্টিপ্লেক্স (*Artiplex*), আমারেনটাস (*Amaranthus*), স্যাকারাম (*Saccharum*) প্রভৃতি উদ্ভিদের বাণ্ডিল আবরণী কোষে অধিক মাত্রায় ক্লোরোপ্লাস্ট, পারক্সিসোম এবং মাইটোকন্ড্রিয়া লক্ষ্য করেন। বাণ্ডিল আবরণীর ক্লোরোপ্লাস্ট এবং মেসোফিল কোষের ক্লোরোপ্লাস্টের আকৃতির দ্বিরূপতা (dimorphism) একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ বিষয়। বাণ্ডিল আবরণীর ক্লোরোপ্লাস্টগুলি সাধারণতঃ মেসোফিল কোষের ক্লোরোপ্লাস্ট অপেক্ষা আকারে বড়। কতিপয় C_4-উদ্ভিদে ক্লোরোপ্লাস্টের দ্বিরূপতা থাকিলেও মাইটোকন্ড্রিয়া বা পারক্সিসোমের দ্বিরূপতা পরিলক্ষিত হয় না।

বর্তমানে আলোকশ্বসন নীলাভ-সবুজ শৈবালে পরিলক্ষিত হইলেও ব্যাক্-টিরিয়ায় সম্পূর্ণ অজ্ঞাত।

নিয়ন্ত্রণকারী প্রভাব (Limiting factors) : সালোকসংশ্লেষের বিভিন্ন পারিপার্শ্বিক প্রভাবগুলিকে পুঙ্খানুপুঙ্খরূপে পরীক্ষার সময় বৈজ্ঞানিকেরা সেই প্রভাবগুলিকে স্বাধীনভাবে বিচার করিবার চেষ্টা করেন। এই সমস্ত প্রভাব-গুলিকে সর্বাধিক (maximum), সর্বনিম্ন (minimum) এবং সর্বাপেক্ষা অনুকূল

(optimum) এই তিন ভাবে ব্যাখ্যা করেন। যখন কোন প্রক্রিয়া প্রথম শুরু হয় সেই অবস্থাকে সর্বনিম্ন এবং যখন সেই প্রক্রিয়া বন্ধ হয় সেই অবস্থাকে সর্বাধিক প্রভাব বলা হয়। শারীরবৃত্তীয় যে কোন প্রক্রিয়ায় এই দুইটি অবস্থা সম্বন্ধে প্রায় সবাই একমত। সর্বাপেক্ষা অনুকূল অবস্থাকে কেন্দ্র করিয়া নানাবিধ মত বিরোধ পরিলক্ষিত হয়। সর্বাধিক অনুকূল অবস্থাকে ব্যাখ্যা করিবার জন্য 1905 খ্রীষ্টাব্দে ব্ল্যাকম্যান (Blackman) একটি তত্ত্ব লিপিবদ্ধ করেন। ব্ল্যাকম্যানের এই তত্ত্বটি **নিয়ন্ত্রণকারী প্রভাব** (limiting factors) নামে অভিহিত। এই তত্ত্বের ব্যাখ্যাটি হইল : **যখন কোন প্রক্রিয়া বিভিন্ন পারিপার্শ্বিক প্রভাবের উপর নির্ভরশীল তখন সেই প্রক্রিয়াটি সর্বাধিক মন্থর প্রভাবের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।**

ব্ল্যাক্‌ম্যান তাহার এই তত্ত্বটি একটি বিশেষ লেখচিত্রের (graph) সাহায্যে পরিবেশন করেন। লেখচিত্রের ভুজে (abscissa) কার্বন ডাই অক্সাইডের বিভিন্ন ঘনত্ব এবং কোটীতে (ordinate) সালোকসংশ্লেষের হার প্রকাশ করেন। আলোকের প্রখরতা একটি বিশেষ জায়গায় স্থির রাখিলে, কার্বন ডাই অক্সাইডের



চিত্র-45 : সালোকসংশ্লেষে নিয়ন্ত্রক প্রভাবকের প্রভাব। ব্ল্যাকম্যান (নিরেট চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত) ও তাহার পরবর্তী পরিবর্তিত (যতি চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত) লেখের আন্তঃসম্পর্ক।

পরিমাণ বৃদ্ধির (1-5 মিলিমিটার) সঙ্গে সঙ্গে নিশ্চিত সীমারেখা (certain limit) পর্যন্ত সালোকসংশ্লেষের হার বৃদ্ধি পাইতে থাকে (চিত্র—45)। ঐ একই আলোক প্রখরতায় কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিমাণ আরও বৃদ্ধি করিলে সালোকসংশ্লেষের হার আর বৃদ্ধি পায় না। লেখচিত্রে তাই সালোক-

সংশ্লেষের হার ভূজের সামান্তরাল থাকে। লেখচিত্রের এই অংশে কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিমাণ বেশী থাকিলেও আলোকের প্রখরতা নিয়ন্ত্রণকারী প্রভাবরূপে কার্য করে। এই অবস্থায় আলোকের প্রখরতা দ্বিগুণ করিলে সালোকসংশ্লেষের হার আবার বৃদ্ধি পায় এবং এরপর পুনরায় ভূজের সামান্তরাল হয়।

সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় আলোক ও কার্বন ডাই অক্সাইড ব্যতীত অন্য যে কোন প্রভাবই নিয়ন্ত্রণকারী প্রভাবরূপে পরিগণিত হয়।

ব্ল্যাক্‌ম্যানের এই লেখচিত্র পরবর্তীকালে হার্ডার (Harder) এবং জেম্‌স্ (James) তীব্র সমালোচনা করেন। তাহাদের মতে সালোকসংশ্লেষের হার লেখচিত্রে প্রকাশ করিলে সালোকসংশ্লেষের হার বৃদ্ধি পাইতে পাইতে হঠাৎ সামান্তরাল না হইয়া ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পাইয়া সমান্তরাল অবস্থায় উপনীত হয়। সালোকসংশ্লেষ পাতার মেসোফিল কলায় সাধিত হয়। পাতায় মেসোফিল কলাগুলি স্তরে স্তরে সজ্জিত থাকায় একই সময়ে কোষগুলি একই কার্বন ডাই অক্সাইডের ঘনত্ব বা একই আলোকের প্রখরতা অর্জন করিতে পারে না। কোষগুলি ধীরে ধীরে এই প্রভাবগুলি অর্জন করে। তাই সমগ্র পাতার সালোকসংশ্লেষের হার লেখচিত্রে যখন প্রকাশ করা হয় তখন তাহা ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পাইয়া সমান্তরাল অবস্থায় উপনীত হয়।

সালোকসংশ্লেষের উপর পারিপার্শ্বিক প্রভাব (Factors affecting photosynthesis) : বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াকলাপের ন্যায় সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিটিও একাধিক পারিপার্শ্বিক প্রভাব দ্বারা প্রভাবান্বিত। এই প্রভাবগুলি বহিস্থ এবং অন্তস্থ দুই প্রকারের হয়।

বহিস্থ প্রভাব :

(ক) **আলোক** (Light) : সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিতে প্রস্তুত কার্বোহাইড্রেটে যে শক্তি সঞ্চিত থাকে তাহা আলোক শক্তি হইতে গৃহীত হওয়ায় আলোক উক্ত পদ্ধতিতে একটি প্রধান ভূমিকা গ্রহণ করে। সাধারণ অবস্থায় সূর্যের আলোকেই সালোকসংশ্লেষের প্রধান শক্তির উৎস। সালোকসংশ্লেষের হার আলোকের প্রখরতা (intensity), স্থিতিকাল (duration) এবং প্রকৃতির (quality) উপর নির্ভরশীল।

নির্দিষ্ট সীমারেখা পর্যন্ত আলোকের প্রখরতা বৃদ্ধি পাইলে সালোকসংশ্লেষের হারও বৃদ্ধি পায়। আলোকের প্রখরতা স্বল্প হইলে আলোক বিক্রিয়াভূত ATP এবং বিজারিত $NADP^+$ পরিমাণ কম হয় ফলে সালোকসংশ্লেষের হারও স্বল্প হয়। আলোকের স্বল্প প্রখরতায় পত্ররন্ধ্র (stomata) গুলিও বন্ধ হয় ; ফলে কার্বন ডাই অক্সাইড কম প্রবেশ করায় সালোকসংশ্লেষের হার হ্রাস পায়। অপরপক্ষে, আলোকের প্রখরতা অত্যাধিক বৃদ্ধি পাইলে অত্যাধিক বাষ্পমোচনের ফলে কোষে জলের পরিমাণ হ্রাস পায় এবং সালোকসংশ্লেষের হারও হ্রাস পায়। অত্যাধিক প্রখর আলোকে আলোক জারণের (photo oxidation) ফলে কোষের ক্লোরোফিল অণুগুলি বিনষ্ট হয়, ফলে সালোক-সংশ্লেষের হার হ্রাস পায়।

মিচেল (Mitchell), গেসনার (Gessner) এবং বুনিং (Bohning)-এর পরীক্ষাদ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, আলোকের স্থিতিকাল বৃদ্ধির সঙ্গে সালোকসংশ্লেষের হার সম্পর্কযুক্ত।

আলোকের প্রকৃতির উপরেও সালোকসংশ্লেষের হার অনেকাংশে নির্ভরশীল। আলোকের দৃশ্যমান বর্ণালীর (visible spectrum) সাতটি রঙের মধ্যে লাল অংশে সর্বাপেক্ষা অধিক সালোকসংশ্লেষ ঘটে এবং এর পর নীল অংশের স্থান। আলোকের সবুজ অংশে সালোকসংশ্লেষ সম্পূর্ণ ব্যাহত হয়।

(খ) **কার্বন ডাই অক্সাইডের ঘনত্ব** (Concentration of CO_2) : কার্বন কার্বোহাইড্রেটের একটি বিশেষ উপাদান তাই সালোকসংশ্লেষে কার্বন ডাই অক্সাইড (কার্বন উৎস) একান্ত প্রয়োজনীয়। আলোক, উষ্ণতা প্রভৃতি সালোকসংশ্লেষকারী প্রভাবগুলি নিয়ন্ত্রণকারী প্রভাবরূপে কার্য না করিলে বায়ুমণ্ডলে কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিমাণ (0·03%) বৃদ্ধির সঙ্গে সালোক-সংশ্লেষও নির্দিষ্ট সীমারেখা পর্যন্ত বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয়। বায়ুমণ্ডলে কার্বন ডাই অক্সাইডের ঘনত্ব নির্দিষ্ট পরিমাণের বেশী হইলে উহা প্রতিবন্ধক রূপে কার্য করে, ফলে সালোকসংশ্লেষের হার হ্রাস পায়।

(গ) **উষ্ণতা** (Temperature) : সাধারণভাবে প্রোটীন জাতীয় যৌগের সহনশীল উষ্ণতার উপর সালোকসংশ্লেষ নির্ভরশীল। প্রোটীন (উৎসেচক) 0°C হইতে 60°C পর্যন্ত উষ্ণতার সক্রিয়। সালোকসংশ্লেষ তাই ব্যাপক উষ্ণতা

সীমারেখায় সম্পন্ন হয়। কতিপয় ব্যাক্‌টিরিয়া ও নীলাভ-সবুজ শৈবাল কমবেশী 70°C উষ্ণতায় সালোকসংশ্লেষ করিতে পারে আবার পাইন জাতীয় পার্বত্য ঠাণ্ডা অঞ্চলের উদ্ভিদ -6°C পর্যন্ত উষ্ণতায় সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি সম্পন্ন করে। গ্রীষ্ম প্রধান দেশে সালোকসংশ্লেষের জন্য উচ্চ উষ্ণতার প্রয়োজন। সালোকসংশ্লেষের সর্বাপেক্ষা অনুকূল উষ্ণতা 20°C হইতে 35°C পর্যন্ত।

সালোকসংশ্লেষে উষ্ণতার প্রভাব আলোক প্রখরতা ও কার্বন ডাই অক্সাইডের উপর অনেকাংশে নির্ভরশীল। সালোকসংশ্লেষের আলোক রসায়ন বিক্রিয়ায় উষ্ণতার বিশেষ কোন প্রভাব পরিলক্ষিত হয় না। আলোক রসায়ন বিক্রিয়ায় উষ্ণতা সহসংঘটক (tempc. coefficient বা Q_{10}) 1·0 অথবা কিঞ্চিত বেশী। সালোকসংশ্লেষের কার্বন সংবন্ধন এবং পরবর্তী বিক্রিয়াগুলি উষ্ণতা নির্ভরশীল; এবং এক্ষেত্রে উষ্ণতা সহ সংঘটক (Q_{10}) 2·0 হইতে 3·0 পর্যন্ত।

সর্বোপরি ক্লোরোপ্লাস্টে কার্বন ডাই অক্সাইডের ব্যাপন ক্রিয়া বেশী উষ্ণতায় অধিক হইয়া থাকে এবং সেক্ষেত্রেও সালোকসংশ্লেষের উপর প্রভাব বিস্তার করিয়া থাকে।

(ঘ) **অক্সিজেনের ঘনত্ব** (Concentration of O_2): ম্যাক্‌ অ্যালিসটার (McAlister) এবং মায়ার (Myers) 1940 খৃষ্টাব্দে গম গাছের উপর অক্সিজেনের প্রভাব লক্ষ্য করেন। তাহাদের মতে বায়ুমণ্ডলের অক্সিজেনের পরিমাণ (21%) হ্রাস করিলে সালোকসংশ্লেষের হার বৃদ্ধি পায়। অক্সিজেনের উপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি ব্যাহত হইবার নিম্নলিখিত কারণ উল্লেখ করা যাইতে পারে।

প্রথমতঃ অক্সিজেন শ্বসনের একটি বিশেষ উপকরণ এবং কতিপয় অন্তবর্তী যৌগের ক্ষেত্রে শ্বসন সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া প্রতিরোধক। অক্সিজেন বৃদ্ধিতে শ্বসনের হার বৃদ্ধি পায়। ফলে সাধারণ অন্তবর্তী যৌগগুলি প্রতিরোধক হিসাবে শ্বসনে ব্যবহৃত হওয়ায় সালোকসংশ্লেষের হার হ্রাস প্রাপ্ত হয়। দ্বিতীয়তঃ অক্সিজেন হাইড্রোজেনের সহিত যুক্ত হইয়া সালোকসংশ্লেষের কার্বন ডাই অক্সাইডের বিজারণ প্রক্রিয়াকে হ্রাস করায়। ফলে সালোকসংশ্লেষের হার হ্রাস পায়। অপরপক্ষে, আলোক-রসায়ন বিক্রিয়ায় উদ্ভূত বিজারিত সহ উৎসেচকগুলির হাইড্রোজেন কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিবর্তে অক্সিজেনের

সহিত বিক্রিয়া ঘটায়। তৃতীয়তঃ ক্লোরোফিলের ট্রিপ্লেট অবস্থা অক্সিজেন দ্বারা প্রশমিত (quencher) হওয়ায় সালোকসংশ্লেষের প্রতিরোধক স্বরূপ কার্য করে।

(ঙ) **জলের পরিমাণ** (Water content) : সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতির উপর জলের প্রত্যক্ষ কোন ভূমিকা না থাকিলেও পরোক্ষভাবে সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি নিয়ন্ত্রিত করে। জল সালোকসংশ্লেষ অপেক্ষা কোষের জীবিত-অবস্থা রক্ষা করার জন্য বেশী প্রয়োজনীয়। কোষের জীবিত অবস্থা অতঃপর সালোকসংশ্লেষের উপর প্রভাব বিস্তার করিয়া থাকে। স্নেডার (Schneider) এবং চ্যাইল্ডারস (Childers) 1941 খ্রীষ্টাব্দে আপেল জমিতে জল হ্রাস করিয়া শতকরা 50 ভাগ সালোকসংশ্লেষের হার হ্রাস লক্ষ্য করেন।

জল হ্রাসের সঙ্গে কোষের প্রোটোপ্লাসমের জলের পরিমাণ এবং পত্ররন্ধ্রের বন্ধ-অবস্থা জড়িত থাকায় সালোকসংশ্লেষের হার হ্রাস পায়। জল হ্রাসের ফলে উৎসেচক, প্রোটীন ও কোষের যাবতীয় মাইক্রোঅণুগুলির প্রকৃতি নষ্ট হওয়ায় পরোক্ষভাবে সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিতে প্রতিরোধকের কার্য করে।

(চ) **রাসায়নিক পদার্থ** (Chemical Substances) : ক্লোরোফর্ম, ইথার, হাইড্রোজেন সালফাইড, হাইড্রোসায়ানিক অ্যাসিড প্রভৃতি রাসায়নিক যৌগ স্বল্প পরিমাণে শোষিত হইলে, সালোকসংশ্লেষের হার হ্রাস পায়। এই রাসায়নিক যৌগগুলি সালোকসংশ্লেষকারী উৎসেচকের কার্যকারীতাকে ব্যাহত করায় সালোকসংশ্লেষের হার হ্রাস পায়।

(ছ) **বার্দ্ধক্যের প্রভাব** (Age effect) : বার্দ্ধক্যের সঙ্গে সঙ্গে পাতার সালোকসংশ্লেষ ক্ষমতা হ্রাস পায়। বার্দ্ধক্য জনিত কারণে এবং সক্রিয় ক্লোরোপ্লাস্টের সংখ্যা হ্রাস পাওয়ায় বার্দ্ধক্যকালে সালোকসংশ্লেষের হারও হ্রাস পায়।

অন্তস্থ প্রভাব :

(জ) **ক্লোরোফিলের পরিমাণ** (Chlorophyll content) : ক্লোরোফিল সালোকসংশ্লেষে প্রয়োজন হইলেও পাতার ক্লোরোফিল পরিমাণের উপর সালোকসংশ্লেষের বিশেষ কোন প্রভাব নাই। অধিক ক্লোরোফিল সমন্বিত কোষে উৎসেচক ও সহউৎসেচকের অভাব পরিলক্ষিত হয়। তাই অধিক ক্লোরোফিল সমন্বিত কোষে সালোকসংশ্লেষের বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয় না।

(ঝ) **উৎপাদিত দ্রব্য সমূহের সঞ্চয়** (Accumulation of end products) : সালোকসংশ্লেষের ফলে উৎপাদিত কার্বোহাইড্রেট কোষ মধ্যে সঞ্চিত হওয়ায় সালোকসংশ্লেষ হারের হ্রাস পায়। সালোকসংশ্লেষের হার উৎপাদিত দ্রব্য সমূহের সঞ্চয়ের সহিত ব্যস্ত আনুপাতিক (inversely proportional)।

(ঞ) **পাতার অন্তর্গঠন** (Internal structure of leaves) : পাতার আভ্যন্তরীণ গঠন অর্থাৎ পত্ররন্ধ্রের আকার ও আয়তন, কোষের কোষমধ্যস্থ স্থান (intercellular space), স্পঞ্জী ও প্যালিসেড কোষস্তরের বিন্যাস, অসবুজ মেসোফিল কলার উপস্থিতি প্রভৃতির উপর সালোকসংশ্লেষের হার নির্ভরশীল। C_4-উদ্ভিদের নালিকা বাণ্ডিলের চতুর্দিকে সালোকসংশ্লেষকারী কোষ পরিবেষ্টিত থাকায় C_3-উদ্ভিদ অপেক্ষা C_4-উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষ ক্ষমতা অধিক (বিশদ বিবরণের জন্য "হ্যাচ্ এবং স্ল্যাক কার্বন সংবন্ধন পদ্ধতি" দ্রষ্টব্য)।

অষ্টম অধ্যায়

নাইট্রোজেন বিপাক ও তাৎপর্য

(Metabolism and Significance of Nitrogen)

বায়ুমণ্ডলে $\frac{4}{5}$ অংশ (অর্থাৎ শতকরা 78 ভাগ) নাইট্রোজেন থাকা সত্বেও উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদেরা সরাসরি বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেন গ্রহণ বা ব্যবহার করিতে পারে না। অধিকাংশ উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদ মাটি হইতে অজৈব নাইট্রেট আয়ন (nitrate ion) এবং অ্যামোনিয়াম আয়ন (NH_4^+) শোষণ করিয়া নাইট্রোজেনের উৎসরূপে ব্যবহার করে। কতিপয় নিম্নশ্রেণীর উদ্ভিদ ও জীবাণু (micro-organisms) সরাসরি বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেনকে সংবন্ধন (fixation) ঘটাইয়া জীবজগতে খাদ্যশৃঙ্খলের মাধ্যমে নাইট্রোজেন প্রবাহে উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে। সুতরাং নাইট্রোজেন বিপাকে বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেন সংবন্ধনের একটি গুরুত্বপূর্ণ অধ্যায়।

নাইট্রোজেনের উৎস (Source of Nitrogen) : নাইট্রোজেন অণুগুলি ত্রিবন্ধ (triple bond) এবং সাধারণ অবস্থায় ত্রিবন্ধ অণু সক্রিয় হইয়া থাকে কিন্তু নাইট্রোজেন বস্তুত পক্ষে দৃঢ় (stable)। বায়ুমণ্ডলে শতকরা 78 ভাগ নাইট্রোজেন থাকিলেও অধিকাংশ জীব এই নাইট্রোজেন ব্যবহারে অক্ষম। উদ্ভিদ পত্ররন্ধ্র মাধ্যমে কার্বন ডাই অক্সাইড, অক্সিজেন ও নাইট্রোজেন গ্রহণ করিলেও নাইট্রোজেন কোষে বিজারিত হইতে পারে না। মাটিতে সাধারণতঃ যে নাইট্রোজেন সঞ্চিত থাকে তাহা অনেকখানি জীবের পচনের ফলে উদ্ভূত জৈব যৌগ। বিদ্যুৎসহ বৃষ্টি ও অতিবেগুনী (ultra violet) আলোকের প্রবাহে বায়ু মণ্ডলের নাইট্রোজেন অক্সিজেনের সহিত যুক্ত হইয়া অজৈব নাইট্রেটরূপে মাটিতে আসে। মাটিতে নানাবিধ অজৈব নাইট্রোজেন উদ্ভিদ ও প্রাণী পচনের ফলে সংবন্ধন হইয়া থাকে। অনেকক্ষেত্রে নানাবিধ জীবাণুর সক্রিয়তায় নাইট্রোজেন যৌগ দ্রবণীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডে পরিণত হয়।

মাটিতে জৈব নাইট্রোজেনরূপে প্রধানতঃ ইউরিয়া (urea) দেওয়া হয়। ইউরিয়া উদ্ভিদ কর্তৃক অতি সহজেই শোষিত হয় এবং সরাসরিভাবে বিপাকে

$$H_2N-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-NH_2$$

অংশ গ্রহণ করিয়া থাকে। কৃষিজ সার রূপে ইউরিয়া বর্তমানে বহুল প্রচলিত। নাইট্রোজেন যুক্ত পদার্থ পিউরিন (purine), পিরিমিডিন (pyrimidine) ও দ্রবণীয় প্রোটীনরূপেও মাটিতে উপস্থিত থাকে। মাটি হইতে উদ্ভিদের প্রধান গ্রহণযোগ্য নাইট্রোজেন যৌগের মধ্যে নাইট্রেট (NO_3^-) ও অ্যামোনিয়াম আয়ণের (NH_4^+) নাম বিশেষ উল্লেখযোগ্য। এই আয়ণগুলির মধ্যে নাইট্রেট আয়ণ অধিকাংশ উদ্ভিদ অধিক মাত্রায় শোষণ করিয়া থাকে। সাধারণ অবস্থায় স্বল্প আম্লিক মাটিতে নাইট্রেট এবং প্রশমিত (neutral) বা স্বল্প ক্ষারীয় মাটিতে অ্যামোনিয়াম আয়ণ শোষিত হয়।

জৈবিক নাইট্রোজেন সংবন্ধন (Biological Nitrogen fixation) : সজীব বস্তু কর্তৃক বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেনকে জৈব যৌগে রূপান্তরিত করিবার পদ্ধতিকে জৈব **নাইট্রোজেন সংবন্ধন** (nitrogen fixation) বলা হয়। মাটি ও জলে বসবাস কারী স্বাধীনজীবী (free living) ও মিথোজীবী (symbiotic) ব্যাক্‌টিরিয়া এবং বহু নীলাভ-সবুজ শৈবাল নাইট্রোজেন সংবন্ধন ঘটায়।

নাইট্রোজেন সংবন্ধনের পূর্ণ সমীকরণটি নিম্নরূপ ঃ

$$N_2 + 6H^+ + 6e^- \longrightarrow 2NH_3$$

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4OH$$

অ্যামোনিয়া আয়ণ (NH_4^+) নাইট্রোজেন সংবন্ধনের প্রথম স্থায়ী যৌগ।

(ক) **নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী জীব** (N_2fixing Organisms) ঃ

(1) **স্বাধীনজীবী ব্যাক্‌টিরিয়া** (Free living Bacteria) ঃ স্বাধীনজীবী ব্যাক্‌টিরিয়ার মধ্যে সবাত (aerobic) শ্বসনকারী অ্যাজোটোব্যাক্‌টর (*Azotobacter*) এবং অবাত (anaerobic) শ্বসনকারী ক্লস্ট্রিডিয়াম (*Clostridium*) নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারীরূপে বিশেষ উল্লেখযোগ্য।

পরজীবী (heterotrophic) ব্যাক্‌টিরিয়াগুলির জীবন ধারণের জন্য বিজারিত কার্বনের প্রয়োজন। এই বিজারিত কার্বনের জারণের ফলে যে ইলেক্‌ট্রন উদ্ভূত হয়, সেই ইলেক্‌ট্রন পরবর্তী পর্যায়ে নাইট্রোজেনকে বিজারিত করে। 1893 খ্রীষ্টাব্দে উইনোগ্রাডস্কি (Winogradsky) সর্বপ্রথম ক্লস্ট্রিডিয়াম

প্যাস্টুরেনাম (*Clostridium pasteurianum**) নামক ব্যাক্টিরিয়া কর্তৃক নাইট্রোজেন সংবন্ধনের তথ্যটি উপস্থাপিত করেন। অতঃপর ক্লস্ট্রিডিয়ামের বিভিন্ন প্রজাতি কর্তৃক নাইট্রোজেন সংবন্ধনের কথা উল্লিখিত হয়। ক্লস্ট্রিডিয়াম ব্যাক্টিরিয়াগুলি গ্রাম নেগেটিভ, দণ্ডাকৃতির (rod shaped) এবং সর্বস্তরের মাটিতে বিদ্যমান। এই বাক্টিরিয়াগুলির নাইট্রোজেন সংবন্ধনের সর্বাপেক্ষা অনুকূল উষ্ণতা 25°C।

এর পরবর্তী পর্যায়ে 1901 খৃষ্টাব্দে বাইজারিন্‌ক্ (Beijernick) সবাত ব্যাক্টিরিয়া অ্যাজোটোব্যাক্টর (*Azotobacter*) কর্তৃক নাট্রোজেন সংবন্ধনের কথা উল্লেখ করেন। অ্যাজোটোব্যাক্টিরিয়েসী গোত্রের অ্যাজোটোব্যাক্টর (*Azotobacter*), বাইজাররেনকিয়া (*Beijernickia*) এবং ডারক্সিয়া (*Derxia*) নামক গ্রাম নেগেটিভ, দণ্ডাকৃতি পরজীবী ব্যাক্টিরিয়াগুলিও নাইট্রোজেন সংবন্ধনে কার্যকারী। সমস্ত প্রকার সবাত ব্যাক্টিরিয়ার মধ্যে আজোটো-ব্যাক্টর কর্তৃক নাইট্রোজেন সংবন্ধনের তথ্যটি সর্বাগ্রে উল্লেখযোগ্য। ইহারা স্বল্প ক্ষারীয় মাধ্যমে এবং 25°C—28°C পরম উষ্ণতায় নাইট্রোজেন সংবন্ধন ক্রিয়া সম্পাদন করে। অপর নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী ব্যাক্টিরিয়ার মধ্যে স্পাইরিলাম (*Spirillum*) এবং ক্লেব্‌সিয়েলার (*Klebsiella*) নামক বিশেষ ভাবে উল্লেখযোগ্য।

সালোকসংশ্লেষকারী স্বভোজী ব্যাক্টিরিয়া সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি হইতে ইলেক্ট্রন গ্রহণ করিয়া নাইট্রোজেন সংবন্ধন করে। সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্টিরিয়ার তিনটি গোত্রের ব্যাক্টিরিয়া বিশেষ উল্লেখযোগ্য। ক্লোরো-ব্যাক্টিরিয়েসী (Chlorobacteriaceae) গোত্রের ক্লোরোবিয়াম (*Chlorobium*) নামক অবাত, নিশ্চল (non-motile), দণ্ডাকৃতির ব্যাক্টিরিয়া, থায়োরোডেসী (Thiorhodaceae) গোত্রের ক্রোম্যাটিয়াম (*Chromatium*) নামক সচল (motile), গোলাকার ব্যাক্টিরিয়া এবং অ্যাথাওরোডেসী (Athiorhodaceae) গোত্রের রোডোস্পাইরুলাম (*Rhodospirillum*) এবং রোডোসিউডোমনাস (*Rhodopseudomonas*) নামক অবাত শ্বসনকারী ব্যাক্টিরিয়াগুলিও নাই-ট্রোজেন সংবন্ধনে কার্যকারী।

---

* উইনোগ্রাডস্কি স্বয়ং এই প্রজাতির নাম প্যাস্টোরিয়ানাম (*Pastorianum*) নামে অভিহিত করেন। কিন্তু পরবর্তীকালে এই প্রজাতিটিকে বৈজ্ঞানিকেরা ভুল করিয়া (Louis Pasteur-এর নামানুসারে) প্যাসটুয়েনাম (*Pasteurianum*) নামে অভিহিত করেন।

এতব্যতীত সিউডোমোনাস (*Pseudomonas*), ব্যাসিলাস (*Bacillus*), মিথানোমোনাস (*Methanomonas*) ইত্যাদি কয়েকটি ব্যাক্টিরিয়া প্রজাতির কয়েকটি স্ট্রেন-ও নাইট্রোজেন সংবন্ধনে সমর্থ।

(2) **নীলাভ-সবুজ শৈবাল*** (Blue green algae): পৃথিবীর প্রায় সমস্ত ক্রান্তীয়মণ্ডলীয় (tropics) ধানক্ষেতে পর্যাপ্ত পরিমাণে নীলাভ-সবুজ শৈবাল বসবাস করে। নীলাভ-সবুজ শৈবাল নাইট্রোজেনবিহীন পরিবেশে স্বভোজী উদ্ভিদরূপে বসবাস করে। ইহারা স্বভাবে যূথচর (gregarious) এবং মাটির উপরে একটি পিচ্ছিল আবরণের সৃষ্টি করে। নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী নীলাভ-সবুজ শৈবালের বিভিন্ন গণের মধ্যে নস্টক (*Nostoc*) এবং অ্যানাবিনা (*Anabaena*) বিশেষ ভাবে উল্লেখযোগ্য। নীলাভ-সবুজ শৈবালের হেটেরোসিস্ট (heterocyst) সমন্বিত অন্যান্য গণের মধ্যে এককোষী গ্লিওকাপসা (*Gloeocapsa*), অ্যানাবিনপ্‌সিস (*Anabaenopsis*), অলসিরা (*Aulosira*), সিলিণ্ড্রোস্পারমাম (*Cylindrospermum*) শৈবালের নাইট্রোজেন সংবন্ধন ক্ষমতা উল্লেখযোগ্য।

নীলাভ-সবুজ শৈবাল স্বাধীনজীবী অবস্থা ব্যতীত বিভিন্ন উদ্ভিদের সহিত সহযোগী (associated) অবস্থায়ও নাইট্রোজেন সংবন্ধন করিয়া থাকে। বোর্টেলস, (Bortels) 1940 খৃষ্টাব্দে উল্লেখ করেন যে, অ্যাজোলা (*Azolla*), অন্তঃবাসী (endophytic) অ্যানাবিনা কর্তৃক বসবাসকালে নাইট্রোজেনবিহীন পরিবেশও সাধারণভাবে বৃদ্ধি পায়। ^{15}N নাইট্রোজেন ব্যবহার করিয়া বণ্ড এবং স্কট্‌ (Bond and Scott) 1955 খ্রীষ্টাব্দে লাইকেন (lichen) এবং লিভার-ওয়ার্ট (liverworts)-এর অন্তঃবাসী নস্টকে নাইট্রোজেন সংবন্ধন লক্ষ্য করেন। সাইকাস (*Cycas*) এবং স্ট্যানজেরিয়া (Stangeria) উদ্ভিদের অর্বুদে অ্যানাবিনা অন্তঃবাসী রূপে বসবাস করে। 1953 এবং 1955 খৃষ্টাব্দে ডউন (Douin) অর্বুদযুক্ত সাইকাস ও স্ট্যানজেরিয়ার মূলে অধিক নাইট্রোজেন মাত্রা লক্ষ্য করেন। এদের নাইট্রোজেন সংবন্ধন পদ্ধতি এখনও গবেষণার বিষয়।

---

* বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা নীলাভ-সবুজ শৈবালকে সায়ানোব্যাক্টর (Cyanobacter) নামে অভিহিত করেন।

1939 খৃষ্টাব্দে ডঃ প্রাণকৃষ্ণ দে (P. K. De) বাংলাদেশের ধানক্ষেতে অ্যানাবিনার বিভিন্ন প্রজাতি কর্তৃক নাইট্রোজেন সংবন্ধনের বিষয় বিষদ্‌ভাবে উল্লেখ করেন। 1964 খৃষ্টাব্দে কক্স (Cox) ^{15}N নাইট্রোজেন দ্বারা পরীক্ষা করিয়া প্রমাণ করেন যে, নাইট্রোজেন সংবন্ধন ও সালোকসংশ্লেষ কোষের একই অঙ্গে (ল্যামেলা অংশে) সম্পন্ন হয়। একাধিক বৈজ্ঞানিক বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, অধিকাংশ নীলাভ-সবুজ শৈবাল সংবন্ধনকারী নাইট্রোজেনের কিয়দাংশ জৈব যৌগরূপে পরিবেশ মুক্ত করে। 1964 খৃষ্টাব্দে পলনাইক (Pallnaik) ওয়েষ্টিলিওপসিস্ (*Westelliopsis*) নামক নীলাভ-সবুজ শৈবালে ^{15}N পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, পরিবেশে সর্বপ্রথম অ্যামোনিয়া এবং পরবর্তী স্তরে অ্যামাইড নামক জৈব যৌগ মুক্ত করে। উপরোক্ত পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, অ্যামোনিয়া নাইট্রোজেন সংবন্ধনের অপরিহার্য পদার্থ। আমাদের দেশে রাম নাগিনা সিং (R. N. Singh) নীলাভ-সবুজ শৈবালে নাইট্রোজেন সংবন্ধনের নানাবিধ তথ্য প্রকাশ করেন।

দক্ষিণ-পূর্ব এশিয়ার অধিকাংশ ধানক্ষেত নীলাভ-সবুজ শৈবাল দ্বারা আবৃত থাকায় গ্রীষ্মমণ্ডলীয় অঞ্চলে সংবন্ধনকৃত নাইট্রোজেন ধানগাছের বৃদ্ধিতে সহায়তা করে। জাপানে ধানের ফলন বৃদ্ধিতে নীলাভ-সবুজ শৈবালে সবুজ সাররূপে (green manure) বহুল প্রচলিত। মরুভূমি অঞ্চলের উর্বরতা বৃদ্ধিতেও নীলাভ-সবুজ শৈবালের ভূমিকার কথা 1964 খৃষ্টাব্দে শীল্ড এবং ডিউরেল (Shields and Durrell) উল্লেখ করেন।

স্ট্য়ার্ট (Stewart)-এর মতে ভারতবর্ষের অধিকাংশ ফসলী জমিতে নাইট্রোজেনের অভাব পরিলক্ষিত হয়। সুতরাং জমির নাইট্রোজেন বৃদ্ধির জন্য নীলাভ-সবুজ শৈবাল কর্ষণ (culture) অত্যাবশ্যক। ভিয়েতনাম, চীন, থাইল্যাণ্ড ও ইন্দোনেশিয়ার প্লাবিত ধান্যক্ষেত্রে অ্যাজোলার (*Azolla*) ব্যবহার বহুল প্রচলিত। অ্যাজোলার পচনের পর ধানজমি প্রচুর নাইট্রোজেন-ঘটিত পদার্থ পায়। বর্তমানে ভারতবর্ষেও অ্যাজোলার ব্যবহার সুরু হইয়াছে।

মিথোজীবী ব্যাক্‌টিরিয়া (Symbiotic bacteria) : হেল্‌রিজেল (Hellriegel) এবং উইলফার্থ (Wilfarth) 1888 খ্রীষ্টাব্দে সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন যে, শিম্বি গোত্রীয় (Leguminosae) উদ্ভিদে মাটিতে নাইট্রেট বা

অ্যামোনিয়াম লবণ না থাকিলেও, নাইট্রোজেনের অভাব পরিলক্ষিত হয় না। তাহারা অর্বুদ সৃষ্টিকারী ব্যাক্টিরিয়া ও শিম্বি গোত্রীয় উদ্ভিদের মধ্যে মিথোজীবিত্ব (symbiosis) লক্ষ্য করেন। এই অর্বুদ সৃষ্টিকারী মিথোজীবী ব্যাক্টিরিয়াকে 1890 খ্রীষ্টাব্দে ফ্রাঙ্ক (Frank) রাইজোবিয়াম (*Rhizobium*) নামে অভিহিত করেন।

রাইজোবিয়াম ব্যাক্টিরিয়াগুলি গ্রাম নেগেটিভ, দণ্ডাকৃতি ও সবাত প্রকৃতির। শিম্বি গোত্রীয় উদ্ভিদের আক্রমণের পূর্বে ইহারা মাটিতে মৃতজীবী (saprophytes) রূপে বসবাস করে। মাটিতে শিম্বি গোত্রীয় উদ্ভিদের পরিণতির সঙ্গে সঙ্গে তাহাদের মূলরোম হইতে বায়োটিন (biotin) [কোন কোন বৈজ্ঞানিকের মতে অ্যামাইনো অ্যাসিড, উৎসেচক এবং ভিটামিন] নামক এক প্রকার উদ্দীপক পদার্থ নিঃসৃত হয়। এই উদ্দীপকের সক্রিয়তায় মূলরোমে **সংক্রমণ সূত্রের** (infection thread) সৃষ্টি হয়। এই সংক্রমণ সূত্রে ব্যাক্টিরিয়াগুলি আবদ্ধ হইবার পর তাহাদের সংখ্যা অতীব বৃদ্ধি হয়। পরবর্তী স্তরে সংক্রমণ সূত্রগুলি ভিতরের দিকে অনুপ্রবেশিত হইয়া কর্টেক্সে (বহিঃস্তরে) প্রবেশ করে। ব্যাক্টিরিয়াগুলি কোষের সাইটোপ্লাসমে প্রবেশ করিবার পর ইহারা ইণ্ডোল অ্যাসেটিক অ্যাসিড (IAA) ইত্যাদি বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রকের সৃষ্টি করে। ইহাদের সক্রিয়তায় মূলরোমের বহিঃস্তর ও পরিচক্রের (pericycle) কোষগুলি সংখ্যায় বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয় এবং মৌলিক কোষের সংখ্যাবৃদ্ধি দ্বারা অর্বুদের সৃষ্টি হয়। এই অবস্থায় কোষের ব্যাক্টিরিয়াগুলির সাধারণ গঠন ও বৈশিষ্ট্যের বৈচিত্র্য পরিলক্ষিত হয়। এই অবস্থায় ইহাদের বিভাজন ক্ষমতা নষ্ট হইয়া কোষে নিশ্চল অবস্থায় থাকে। এই অবস্থাকে **ব্যাক্টিরিয়য়েড** (bacteriods) বলা হয়।

ব্যাক্টিরিয়য়েড দ্বারা পূর্ণ অর্বুদের নাইট্রোজেন সংবন্ধন ক্রিয়া সম্পাদিত হয়। শিম্বি গোত্রীয় উদ্ভিদেরা ব্যাক্টিরিয়াকে কার্বন ঘটিত পদার্থ সরবরাহ করে। ইহার জারণের ফলে ইলেকট্রন নির্গত হয় এবং ব্যাক্টিরিয়াগুলি তখন ইলেকট্রনের সহায়তায় নাইট্রোজেনকে অ্যামোনিয়াম আয়ণে বিজারিত করে। অ্যামোনিয়াম আয়ণ পরবর্তী স্তরে নাইট্রোজেনের অন্যান্য যৌগে রূপান্তরিত হয়। এই নাইট্রোজেন যৌগের কিয়দাংশ শিম্বি গোত্রীয় উদ্ভিদের নাইট্রোজেনের উৎস এবং অবশিষ্টাংশ মৃত্তিকায় নিঃসৃত হয়।

শিম্বি গোত্রীয় উদ্ভিদ ব্যতীত কতিপয় গুপ্তবীজী উদ্ভিদেও অর্বুদ সৃষ্টি হয় এবং শিম্বিগোত্রীয় উদ্ভিদের ন্যায় নাইট্রোজেন সংবন্ধন ঘটাইয়া থাকে। অর্বুদ সৃষ্টিকারী অশিম্বি গোত্রীয় বিভিন্ন উদ্ভিদের মধ্যে অ্যালনাস (*Alnus*) ক্যাসুয়ারিনা (*Casuariana*), করিয়ারিয়া (*Coriaria*), মাইরিকা (*Myrica*) প্রভৃতি উদ্ভিদ উল্লেখযোগ্য। অশিম্বিগোত্রীয় উদ্ভিদেরা অধিকাংশ বহুবর্ষজীবী এবং কাষ্ঠল (woody) প্রকৃতির। এই সমস্ত উদ্ভিদের অর্বুদে অ্যাক্টিনোমাইসেটিস (Actinomycetes) নামক সূত্রবৎ ব্যাক্‌টিরিয়া বাস করে। রাইজোবিয়াম উলমেসি (Ulmaceae) গোত্রের উদ্ভিদেও অর্বুদ সৃষ্টি করে এবং নাইট্রোজেন সংবন্ধন করে।

প্যাগান ও সহকর্মীবৃন্দ (Pagan *et al*) এবং ম্যাকব ও সহকর্মীবৃন্দ (Mc Comb *et al*) 1975 খৃষ্টাব্দে রাইজোবিয়ামের একটি স্ট্রেনের স্বাধীনজীবী অবস্থায় নাইট্রোজেন সংবন্ধনের কথা উল্লেখ করেন। এই অবস্থায় ঐ স্ট্রেনটি পেন্টোজ শর্করার উপস্থিতিতে নাইট্রোজেন সংবন্ধন ক্রিয়া সমাধা করে। ভন বিউলো (Von Bulow) এবং ডবিরিয়েনির (Dobereiner) 1975 খৃষ্টাব্দে স্পিরিলাম (*Spirillum*) শৈবাল ভূট্টা গাছের মূলে সহযোগী অবস্থায় বসবাসকালে নাইট্রোজেন সংবন্ধনের তথ্যটি উল্লেখ করেন।

(খ) **নাইট্রোজেন সংবন্ধন পদ্ধতি** (Mechanism of N_2 fixation) : শিম্বি গোত্রীয় উদ্ভিদে স্বাস্থ্যকর অর্বুদে হিমোগ্লোবিন (hemoglobin) নামক একপ্রকার রঞ্জক পদার্থ থাকায় ইহারা গোলাপী বা লাল বর্ণের হয়। এই হিমোগ্লোবিনকে ভির্টানিন ও সহকর্মীবৃন্দ (Virtanen *et al*) **লেগ্‌-হিমোগ্লোবিন** (leghemoglobin) নামে অভিহিত করেন। অর্বুদের নাইট্রোজেন সংবন্ধনে এই রঞ্জক পদার্থটি অপরিহার্য কারণ এই রঞ্জক পদার্থ বিহীন অর্বুদে নাইট্রোজেন সংবন্ধন ক্রিয়া সম্পন্ন হয় না। শিম্বি গোত্রীয় উদ্ভিদ ব্যতীত অন্যান্য উদ্ভিদেও ইহার উপস্থিতি লক্ষ্য করিলেও ব্যাক্টিরিয়া ও নীলাভ-সবুজ শৈবালে ইহা সম্পূর্ণ অনুপস্থিত।

কোষে লেগ্‌হিমোগ্লোবিনের ভূমিকা সঠিকভাবে জানা না গেলেও কোষ মধ্যস্থ অক্সিজেনকে নাইট্রোজেন সংবন্ধনের স্থান (site) হইতে স্থানান্তরিত করাই ইহার প্রধান কার্য। নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী উৎসেচক নাইট্রোজিনেজ

(nitraginase) অত্যন্ত অক্সিজেন অনুভূতিশীল (sensitive) এবং অক্সিজেনের উপস্থিতিতে ইহার কার্য অতীব ব্যাহত হয়।

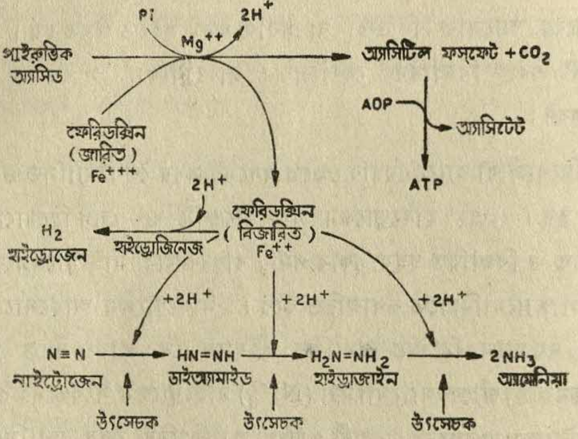
নাইট্রোজেন সংবন্ধনের সাধারণ প্রয়োজনীয় বস্তু—(i) অক্সিজেনের হাত হইতে নাইট্রোজিনেজ উৎসেচককে রক্ষা করা, (ii) হাইড্রোজেনের উৎস, (iii) শক্তির উৎস (ATP), (ix) সক্রিয় নাইট্রোজিনেজ উৎসেচক এবং (v) কিটো অ্যাসিড প্রভৃতি কার্বন যৌগ। হাইড্রোজেন ও ATP সালোক-সংশ্লেষের আলোক বিক্রিয়া বা সবাত শ্বসন হইতে উদ্ভূত হয়। বস্তুতঃপক্ষে ATP এবং বিজারিত ফেরিডক্সিন নাইট্রোজেন সংবন্ধনের প্রয়োজনীয় উপকরণ।

মিথোজীবী ব্যাক্‌টিরিয়ার ক্ষেত্রে শ্বসনের সময় জৈব অ্যাসিড ও হাইড্রোজেন মুক্ত হয়। এই হাইড্রোজেন সাইটোক্রোম ও লেগ্‌হিমোগ্লোবিন দ্বারা জারিত ও বিজারিত হইয়া কোষ পর্দায় বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেনকে বিজারিত করিয়া অ্যামোনিয়াতে রূপান্তরিত করে। নাইট্রোজেন আইসোটোপ (N^{15}) দ্বারা বর্তমানে নিশ্চিত প্রমাণিত হইয়াছে যে, প্রায় সমস্ত নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী জীবে অ্যামোনিয়া (NH_3) নাইট্রোজেন সংবন্ধনের প্রথম যৌগ। নাইট্রোজেন সংবন্ধনের পরবর্তী পর্যায়ে অ্যামোনিয়া জৈব অ্যাসিডের সহিত যুক্ত হইয়া অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রস্তুত করে।

মিথোজীবী ব্যাক্‌টিরিয়া নাইট্রোজেন সংবন্ধনে লৌহ, মলিবডিনাম ও কোবাল্ট প্রভৃতি খনিজ লবণ অন্যতম ভূমিকা গ্রহণ করে। লৌহ হিমোগ্লোবিনের ও নাইট্রোজিনেজ উৎসেচকের একটি অংশ রূপে অপরিহার্য। মূল অর্বুদে লেগ্‌হিমোগ্লোবিন প্রস্তুতিতে কোবাল্ট বিশেষ অংশ গ্রহণ করিয়া থাকে। মলিবডিনামের ভূমিকা সম্পূর্ণরূপে জ্ঞাত না হইলেও ইহা নাইট্রোজিনেজের অপরিহার্য অংশ এবং ইলেক্‌ট্রনের জারণ-বিজারণ প্রক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করিয়া থাকে।

নাইট্রোজেন সংবন্ধনের অন্তবর্তী পর্যায়গুলি সঠিক ভাবে নিরূপিত হয় নাই। পাইরুভিক অ্যাসিড ইত্যাদি জৈব অ্যাসিড ইলেক্‌ট্রন দাতার কার্য করে এবং পরে ফেরিডক্সিন (ferredoxin) এবং ATP-র সাহায্যে নাইট্রোজেন সংবন্ধন ঘটিয়া থাকে। পাইরুভিক অ্যাসিড জারিত হইয়া ATP প্রস্তুত হয় এবং ইলেক্‌ট্রন স্থানান্তরিত হইয়া জারিত ফেরিডক্সিন বিজারিত ফেরিডক্সিনে

রূপান্তরিত হয়। ফেরিডক্সিন হইতে ইলেকট্রন পরবর্তী পর্যায়ে নাইট্রোজেন-বিজারক উৎসেচক, নাইট্রোজিনেজে যুক্ত হয় এবং নাইট্রোজেনকে বিজারিত করিয়া অ্যামোনিয়াম আয়নে রূপান্তরিত করে। অনেকক্ষেত্রে অবাত পরিবেশে ইলেকট্রন হাইড্রোজেন আয়নের সহিত যুক্ত হইয়া হাইড্রোজেন উৎপত্তি ঘটায়।



চিত্র-46 : ক্লস্ট্রিডিয়াম ব্যাক্‌টিরিয়ায় নাইট্রোজেন সংবন্ধনের বিভিন্ন পর্যায়।

উদ্ভিদকোষে অ্যামোনিয়ার আত্মীকরণ (assimilation) প্রধানতঃ গ্লুটামিক অ্যাসিড ও গ্লুটামাইনের মাধ্যমে সাধিত হয়। অধিক অ্যামোনিয়া পরিবেশে গ্লুটামিক ডিহাইড্রোজিনেজ (GDH), অ্যামোনিয়া ও α-অক্সো-গ্লুটারিক অ্যাসিডের সহিত যুক্ত হইয়া গ্লুটামিক অ্যাসিড প্রস্তুত করে। অপরপক্ষে, স্বল্প অ্যামোনিয়া পরিবেশে গ্লুটামাইন সিন্থেটেজ (glutamine synthetase) গ্লুটামিক অ্যাসিডকে গ্লুটামাইনে পরিণত করে। নাইট্রোজেন সংবন্ধনের অপর একটি উৎসেচক গ্লুটামিক অ্যাসিড সিন্থেটেজ(glutamic acid synthetase) গ্লুটামাইনকে পুনরায় গ্লুটামিক অ্যাসিডে পরিণত করে। 1975 খৃষ্টাব্দে শানমুগম (Shanmugam) এবং সহকর্মীবৃন্দ ক্লেবসিয়েলা (*Klebsiella*) নামক ব্যাক্‌টিরিয়ায় লক্ষ্য করেন যে, এই ব্যাক্‌টিরিয়ায় নিফ্

অপেরণ (*nif* operon) নামক জিন গ্লুটামাইন সিন্থেটেজ কার্যকলাপকে নিয়ন্ত্রণ করে।

নাইট্রোজিনেজ উৎসেচকের **Mo-Fe** প্রোটীন এবং Fe-প্রোটীন নামক দুইটি প্রোটীন অংশ বিদ্যমান। বিভিন্ন জৈবিক বস্তু হইতে উদ্ভূত সমস্ত নাইট্রাজিনেজ উৎসেচকের গঠন, কার্য এবং জৈবিক ধর্ম অভিন্ন। উৎসেচকটি অতীব অক্সিজেন অনুভূতিশীল বলিয়া নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী জীবে উৎসেচকটিকে অক্সিজেনের হাত হইতে রক্ষা করিবার জন্য বিভিন্ন প্রাণরসায়ণগত, অঙ্গ-সংস্থানগত গঠনের বৈচিত্র্য পরিলক্ষিত হয়। উদাহরণস্বরূপ শিম্বি গোত্রীয় উদ্ভিদের অর্বুদ, নীলাভ-সবুজ শৈবালের হেটেরোসিস্ট, অ্যাজোটোব্যাকটর ইত্যাদির অতীব গ্যাস প্রস্তুতকরণ, অবাত শ্বসন ও সালোকসংশ্লেষকারী বিভিন্ন ব্যাক্টিরিয়া। প্রতি অণু নাইট্রোজেন নাইট্রোজিনেজ উৎসেচক দ্বারা অ্যামোনিয়াতে সংবন্ধন হইতে 15-20 ATP অণুর প্রয়োজন। নাইট্রোজিনেজ উৎসেচকটির ক্রিয়া ইলেক্ট্রন সক্রিয়তা এবং সাবস্ট্রেট বিজারণ দ্বারা সংঘটিত হয় এবং ইহারা প্রশমিত pH-এ সর্বাপেক্ষা কার্যকারী।

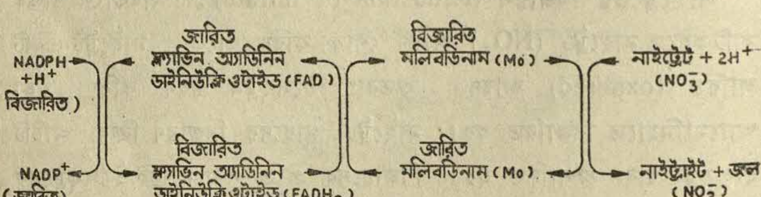
নাইট্রেটের বিজারণ (Reduction of nitrate) : অধিকাংশ উদ্ভিদ মাটি হইতে নাইট্রেট (NO_3) আয়ণ শোষণ করিয়া থাকে। নাইট্রেট একটি জারিত (oxidised) আয়ণ। সুতরাং ইলেক্ট্রন গ্রহণ করিয়া ইহা অ্যামোনিয়াতে বিজারিত হয়। নাইট্রেট আয়ণের বিজারণ ক্রিয়া আটটি ইলেক্ট্রন দ্বারা সম্পাদিত হয়। বিজারণের প্রতি পর্যায়ে দুই ইলেক্ট্রনের প্রয়োজন হওয়ায়, নাইট্রেট হইতে অ্যামোনিয়া বিজারণে চারিটি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়।

$$\overset{(+5)}{NO_3} \longrightarrow \overset{(+3)}{NO_2} \longrightarrow \overset{(+1)}{\times_1} \longrightarrow \overset{(-1)}{\times_2} \longrightarrow \overset{(-3)}{NH_3}$$

উদ্ভিদ কোষে নাইট্রেট্ প্রথম পর্যায়ে নাইট্রাইটে (NO_2^-) বিজারিত হয়। নাইট্রেটের বিজারণ উদ্ভিদের অসবুজ অংশ (অর্থাৎ মূলে) এবং সবুজ অংশ (অর্থাৎ পাতায়) সাধিত হয়। শ্বসনে কার্বোহাইড্রেট জারণের ফলে উদ্ভূত শক্তির দ্বারা মূলের নাইট্রেট বিজারণ সংঘটিত হয়। উদ্ভিদের সবুজ অংশের নাইট্রেট বিজারণের শক্তির উৎস আলোক।

নাইট্রেট নাইট্রাইটে বিজারিত হইবার পর পরবর্তী পর্যায়ে হাইপোনাইট্রাস, হাইড্রক্সিল অ্যামাইন ও অ্যামোনিয়াতে রূপান্তরিত হয়।

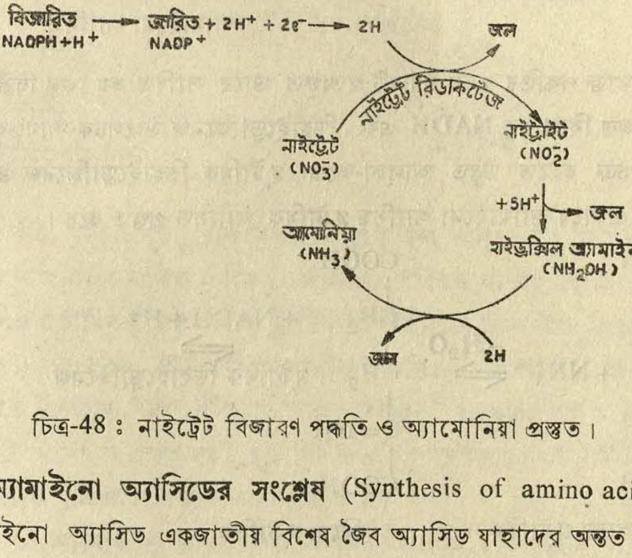
নাইট্রেটের বিজারণ **নাইট্রেট রিডাকটেজ** (nitrate reductase) নামক উৎসেচকের সাহায্যে সাধিত হয়। এই উৎসেচকটি একটি ধাতব ফ্লাভো-প্রোটীন (metallo flavoprotein)। এই উৎসেচকটিতে ইলেকট্রন দাতারূপে বিজারিত NADH বা NADPH প্রোটীনেতর (prosthetic) বর্গরূপে ফ্লাভিন অ্যাডিনিন ডাইনিউক্লিওটাইড (FAD) এবং সহ প্রভাবক (cofactor) রূপে মলিবডিনাম (Mo) বর্তমান। নিকোলাস ও ন্যাসন (Nicholas and Nason) 1954 খ্রীষ্টাব্দে নাইট্রেট বিজারণে ইলেকট্রন পরিবহনের পূর্ণ ব্যাখ্যা দেন। বিজারিত NAD(P)H হইতে ইলেকট্রন ফ্লাভিন অ্যাডিনিন ডাইনিউ-ক্লিওটাইডে (FAD) স্থানান্তরিত হইয়া ফ্লাবিন অ্যাডিনিন ডাইনিউক্লিওটাইডকে বিজারিত করে। বিজারিত FAD-র ইলেকট্রন পরবর্তী পর্যায়ে মলিবডিনামকে বিজারিত করে। বিজারিত মলিবডিনামের ইলেকট্রন সর্বশেষ পর্যায়ে নাইট্রেটকে বিজারিত করিয়া নাইট্রাইটে রূপান্তরিত করে।



চিত্র-47 : নাইট্রেট বিজারণে ইলেকট্রন স্থানান্তরণ।

নাইট্রাইট রিডাকটেজ (nitrite reductase) নামক অপর একটি উৎসেচকের সাহায্যে নাইট্রাইট আয়ণ হাইড্রক্সিল অ্যামাইন ও অ্যামোনিয়ায় বিজারিত হয়। নাইট্রেট রিডাকটেজের ন্যায় নাইট্রাইট রিডাকটেজও একটি ধাতব ফ্লাভোপ্রোটীন। এই উৎসেচকটি পাতায় বেশী মাত্রায় পরিলক্ষিত হয়। ফেরিডক্সিন এই উৎসেচকের প্রধান ইলেকট্রনদাতা এই উৎসেচকটির অপর বৈশিষ্ট্য হইল যে এখানে মলিবডিনামের পরিবর্তে ধাতুরূপে তামা (Cu) এবং লৌহ (Fe) উপস্থিত।

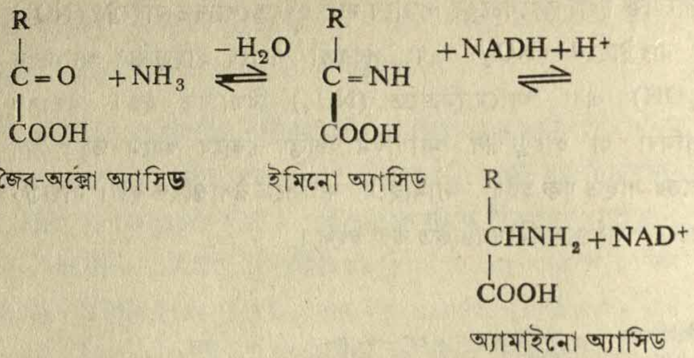
উপরোক্ত তুইটি উৎসেচকের প্রভাবে মাটি হইতে শোষিত নাইট্রেট (NO_3) প্রথমে নাইট্রাইটে (NO_2') এবং পরবর্তী পর্যায়ে হাইড্রক্সিল অ্যামাইন (NH_2OH) এবং অ্যামোনিয়াতে (NH_3) বিজারিত হয়। অতঃপর অ্যামোনিয়া বা হাইড্রক্সিল অ্যামাইন উদ্ভিদ কোষে শ্বসনে উদ্ভূত জৈব অ্যাসিডের সহিত যুক্ত হইয়া অ্যামাইনো অ্যাসিডে রূপান্তরিত হয়। নাইট্রেট বিজারণের পর্যায়গুলি নিম্নে চিহ্নিত করা হইল।



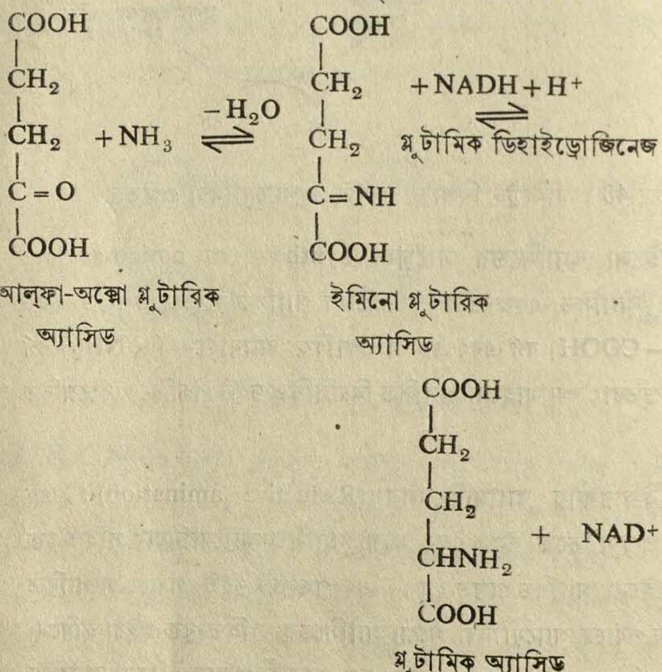
চিত্র-48 : নাইট্রেট বিজারণ পদ্ধতি ও অ্যামোনিয়া প্রস্তুত।

অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংশ্লেষ (Synthesis of amino acids) :- অ্যামাইনো অ্যাসিড একজাতীয় বিশেষ জৈব অ্যাসিড যাহাদের অন্তত একটি কার্বক্সিল (– COOH) বর্গ এবং এক বা একাধিক অ্যামাইনো ($-NH_2$) বর্গ উপস্থিত। সুতরাং অ্যামাইনো অ্যাসিড নিম্নলিখিত তুইটি পদ্ধতিকে সংশ্লেষিত হয়।

(ক) **বিজারকীয় অ্যামাইনেশন** (Reductive amination) : এই পদ্ধতিতে ক্রেব্‌স চক্রে উদ্ভূত জৈব অক্সো অ্যাসিড অ্যামোনিয়ার সহিত যুক্ত হইয়া অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রস্তুত হয়। এই পদ্ধতিটি তুইটি পর্যায়ে সম্পাদিত হয়। প্রথম পর্যায়ে অ্যামোনিয়া অক্সো অ্যাসিডের সহিত যুক্ত হইয়া ইমিনো অ্যাসিড (imino acids) প্রস্তুত করে এবং পরবর্তী পর্যায়ে ইমিনো অ্যাসিড NADH দ্বারা বিজারিত হইয়া অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রস্তুত করে।



উপরোক্ত পদ্ধতির প্রথম পর্যায়টি স্বতঃস্ফূর্ত ভাবে সাধিত হয় কিন্তু দ্বিতীয় পর্যায়ের জন্য বিজারিত NADH এবং ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচক আবশ্যক। ক্রেব্স চক্র হইতে উদ্ভূত আল্ফা-অক্সো গ্লুটামিক ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের প্রভাবে অ্যামাইনো অ্যাসিড গ্লুটামিক অ্যাসিড প্রস্তুত করে।



অক্সালো অ্যাসেটিক ও পাইরুভিক অ্যাসিড উপরোক্ত পদ্ধতিতে যথাক্রমে অ্যাসপারটিক অ্যাসিড এবং অ্যালানিন প্রস্তুত করে।

উদ্ভিদকোষে নাইট্রোজেন যৌগগুলি গ্লুটামিন রূপে অধিক মাত্রায় সঞ্চিত থাকে। গ্লুটামিক অ্যাসিড অ্যামোনিয়ার সহিত যুক্ত হইয়া গ্লুটামিন প্রস্তুত হয়। এই বিক্রিয়াটি ATP নির্ভরশীল এবং গ্লুটামিন সিন্থেটেজ নামক উৎসেচকের প্রভাবে সংঘটিত হয়।

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CHNH_2 \\ | \\ COOH \end{array} + NH_4^+ + ATP \quad \underset{\text{গ্লুটামিন সিন্থেটেজ}}{\overset{+Mg^{++}}{\rightleftharpoons}} \quad \begin{array}{l} COOH \\ | \\ CHNH_2 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ O=C\text{-}NH_2 \end{array} + ADP + P_1 + H^+$$

গ্লুটামিক অ্যাসিড   গ্লুটামিন

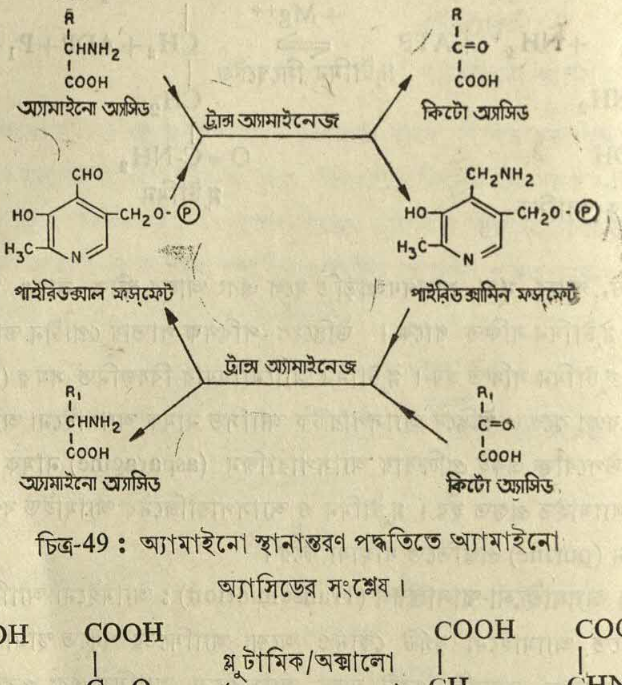
বীট, গাজর, মূলা, শালগম প্রভৃতি মূলে এবং আলুর স্ফীত কাণ্ডে অধিক মাত্রায় গ্লুটামিন সঞ্চিত থাকে। উদ্ভিদের পরিপক্ক পাতায় প্রোটীন ভাঙ্গনের ফলেও গ্লুটামিন সঞ্চিত হয়। গ্লুটামিন অ্যামোনিয়ার বিষজনিত সমত্ব (toxic level) রক্ষা করে। উদ্ভিদে অ্যাসপারটিক অ্যাসিড নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে উপরোক্ত একই প্রক্রিয়ায় অ্যাসপারাজিন (asparagine) নামক অপর একটি অ্যামাইড প্রস্তুত হয়। গ্লুটামিন ও অ্যাসপারাজিনের অ্যামাইড বর্গগুলি পিউরিন (purine) প্রস্তুতিতে সাহায্য করে।

(খ) **অ্যামাইনো স্থানান্তরণ** (Transamiation) : অ্যামইনো অ্যাসিডের অণু হইতে অ্যামাইনো বর্গটি কোনও অক্সো অ্যাসিডের অণুতে স্থানান্তরিত হইলে শেষোক্ত পদার্থটি একটি নূতন অ্যামাইনো অ্যাসিড এবং প্রথমোক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডটি একটি নূতন অক্সো অ্যাসিডে পরিণত হয়। এই পদ্ধতিকে অ্যামাইনো স্থানান্তরণ (transamination) বলা হয়।

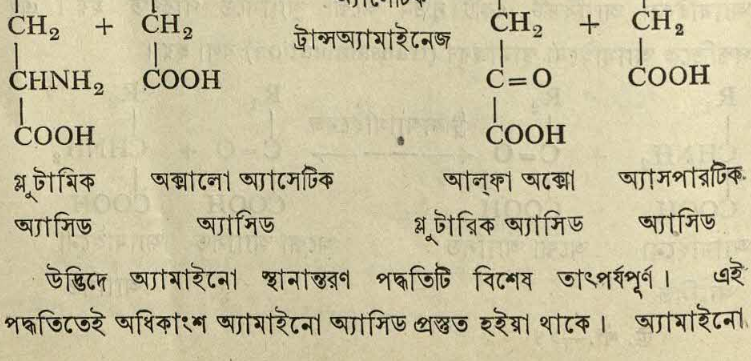
$$\begin{array}{l} R_1 \\ | \\ CHNH_2 \\ | \\ COOH \end{array} + \begin{array}{l} R_2 \\ | \\ C=O \\ | \\ COOH \end{array} \quad \overset{\text{ট্রান্সঅ্যামাইনেজ}}{\longleftrightarrow} \quad \begin{array}{l} R_1 \\ | \\ C=O \\ | \\ COOH \end{array} + \begin{array}{l} R_2 \\ | \\ CHNH_2 \\ | \\ COOH \end{array}$$

অ্যামাইনো অ্যাসিড   অক্সো অ্যাসিড   অক্সো অ্যাসিড   অ্যামাইনো অ্যাসিড

অ্যামাইনো স্থানান্তরণ পদ্ধতিতে গ্লুটামিক অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গটি অক্সালো অ্যাসেটিক অ্যাসিডের অণুতে স্থানান্তরিত হইয়া অ্যাসপারটিক অ্যাসিড এবং আল্ফা অক্সো গ্লুটারিক অ্যাসিড প্রস্তুত হয়। এই বিক্রিয়াটি গ্লুটামিক-অক্সালো অ্যাসেটিক ট্রান্সঅ্যামাইনেজ নামক উৎসেচকের প্রভাবে সাধিত হয়।



চিত্র-49 : অ্যামাইনো স্থানান্তরণ পদ্ধতিতে অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংশ্লেষ।



উদ্ভিদে অ্যামাইনো স্থানান্তরণ পদ্ধতিটি বিশেষ তাৎপর্যপূর্ণ। এই পদ্ধতিতেই অধিকাংশ অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রস্তুত হইয়া থাকে। অ্যামাইনো

স্থানান্তরণের সহায়ক ট্রান্সঅ্যামাইনেজ উৎসেচকগুলির সহউৎসেচক রূপে **পাইরিডক্সাল ফস্‌ফেট** (pyridoxal phosphate) ব্যবহৃত হয়। উক্ত উৎসেচকটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গটিকে স্থানান্তরিত করিয়া অক্সো অ্যাসিডে রূপান্তরিত করে।

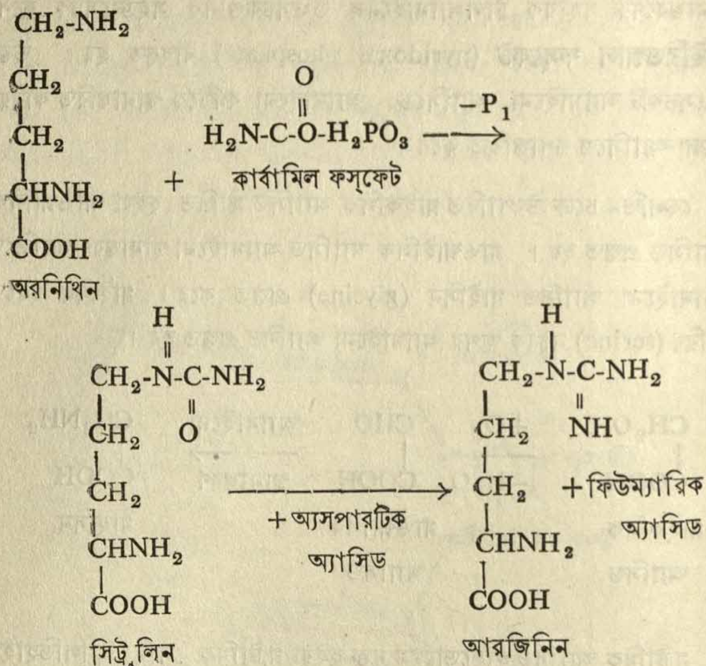
কেলভিন চক্রে উৎপাদিত গ্লাইকলিক অ্যাসিড জারিত হইয়া গ্লাওক্সালিক অ্যাসিড প্রস্তুত হয়। গ্লাওক্সাইলিক অ্যাসিড অ্যামাইনো স্থানান্তরণ পদ্ধতিতে অ্যামাইনো অ্যাসিড গ্লাইসিন (glycine) প্রস্তুত করে। গ্লাইসিন হইতে সেরিণ (serine) নামক অপর অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রস্তুত হয়।

$$\underset{\text{গ্লাইকনিক অ্যাসিড}}{\begin{array}{c}CH_2OH\\|\\COOH\end{array}} \xrightarrow[-H_2O]{+O_2} \underset{\text{গ্লাওক্সালিক অ্যাসিড}}{\begin{array}{c}CHO\\|\\COOH\end{array}} \xrightarrow[\text{স্থানান্তরণ}]{\text{অ্যামাইনো}} \underset{\text{গ্লাইসিন}}{\begin{array}{c}CH_2NH_2\\|\\COOH\end{array}}$$

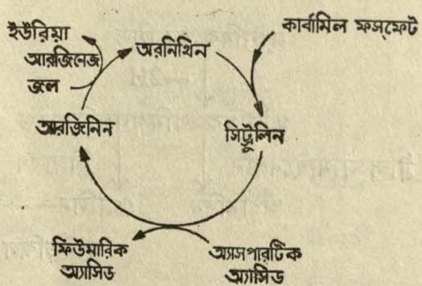
গ্লুটামিক অ্যাসিড হাইড্রোজেন মুক্ত হইয়া গ্লুটামিক সেমি অ্যালডিহাইড প্রস্তুত হয়। গ্লুটামিক সেমিঅ্যালডিহাইড ট্রান্সঅ্যামাইনেশান প্রক্রিয়ায় অরনিথিন (ornithine) এবং বিজারণ প্রক্রিয়ায় প্রোলিন (proline) প্রস্তুত করে।

গ্লুটামিক অ্যাসিড
↓ —2H
গ্লুটামিক সেমিঅ্যালডিহাইড
ট্রান্সঅ্যামাইনেশান ↓ → অরনিথিন
বিজারণ ↓ → প্রোলিন ——→ হাইড্রক্সিপ্রোলিন (হাইড্রক্সিল যুক্ত করণ)

অরনিথিন (ornithine) এবং সিট্রুলিন (citrulline) নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড উদ্ভিদে প্রচুর পরিমাণে সঞ্চিত হইলেও প্রোটীন প্রস্তুতিতে ইহারা কোন অংশ গ্রহণ করে না। অরনিথিন হইতে সিট্রুলিন এবং আরজিনিন (arginine) প্রস্তুত প্রণালী ইউরিয়া চক্রদ্বারা সাধিত হয় (চিত্র-50)।



ইউরিয়া আরজিনিন ও জলের সহিত আরজিনেজ উৎসেচকের প্রভাবে প্রস্তুত হয়।



চিত্র-50 : ক্রেব্‌সের ইউরিয়া চক্র।

মিথায়োনিন (methionine) এবং সিস্টাইন (cysteine) নামক সালফার-যুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডে -SH বর্গ থাকায় প্রোটীনের তৃতীয় পর্যায়ক্রমিক

গঠন (tertiary structure) বা -SH বর্গ সমন্বিত উৎসেচক প্রস্তুতিতে সাহায্য করে। অপরপক্ষে, মিথায়োনিন প্রোটীন সংশ্লেষের সূচনা করিয়া থাকে। মিথায়োনিনের অভাবে প্রোক্যারিওটিক্ ও ইউক্যারিওটিক্ কোষের প্রোটীন সংশ্লেষ ব্যাহত হয়। অ্যাসপারটিক অ্যাসিড হইতে মিথায়োনিন এবং মিথায়োনিন হইতে সিস্টাইন সংশ্লেষিত হইয়া থাকে।

টাইরসিন (tyrosine), ট্রিপটোফেন (tryptophan), ফিনাইল অ্যালানিন (phenlyalanine) প্রভৃতি সুগন্ধি (aromatic) অ্যামাইনো অ্যাসিড এরিথ্রোজ-4-ফস্ফেট এবং ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড হইতে সৃষ্ট সিকিমিক অ্যাসিডের (shikimic acid) মাধ্যমে সংশ্লেষিত হয়। উদ্ভিদে হিস্টিডিনের (histidine) সংশ্লেষ পদ্ধতি বর্তমানে সম্পূর্ণরূপে নিরূপিত হয় নাই।

অধিকাংশ উদ্ভিদে অজৈব নাইট্রোজেন অ্যামোনিয়ার মাধ্যমে অ্যামাইনো অ্যাসিডে প্রবেশ করে। C_4-উদ্ভিদের ক্ষেত্রে নাইট্রোজেন আইসোটোপ (^{15}N) দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, অ্যামোনিয়ার সর্ব প্রথম অ্যাসপারটিক অ্যাসিড নামক অ্যমাইনো অ্যাসিড প্রস্তুত করে। আলোকশ্বসনকারী উদ্ভিদে অ্যামোনিয়া গ্লাওক্সালিক অ্যাসিডের সহিত যুক্ত হইয়া গ্লাইসিন এবং সেরিণ প্রস্তুতিতে সাহায্য করে। C_3-উদ্ভিদের ক্ষেত্রে অ্যামোনিয়া অ্যালানিন, অ্যাসপারটিক অ্যাসিড এবং গ্লুটামিক অ্যাসিড প্রস্তুত করিতে সাহায্য করে। সুতরাং অ্যামোনিয়া ব্যবহারে প্রথম জৈব যৌগের সৃষ্টি কোষের সক্রিয় বিপাকীয় বৈশিষ্ট্য এবং জীবের প্রকৃতির উপর বিশেষ নির্ভরশীল।

প্রোটীন সংশ্লেষ (Protein Synthesis): বিভিন্ন বৈজ্ঞানিকদের পরীক্ষালব্ধ জ্ঞান দ্বারা ইহা নিশ্চিত প্রমাণিত হইয়াছে যে, ডিঅক্সিরাইবো নিউক্লিক অ্যাসিড (deoxyribonucleic acid or DNA) সমস্ত সৃষ্টির সহজাত পদার্থ (genetic material)। DNA জীবদেহের বৈশিষ্ট্য (characters) সৃষ্টির ভূমিকা নিয়ন্ত্রণ করিয়া থাকে। যেহেতু সমস্ত দৃশ্যমাণ বৈশিষ্ট্যের মূলে রহিয়াছে রাসায়নিক বিক্রিয়া এবং সেই বিক্রিয়াগুলি উৎসেচক প্রভাবিত, তাই DNA কে উৎসেচক প্রস্তুতির সূচক রূপে পরিগণিত করা হইয়া থাকে। উচ্চশ্রেণীর জীব কোষে DNA অণুগুলি নিউক্লিয়াসে ক্রোমোসোমের মধ্যে নিহিত থাকে। ক্রোমোসোমের

ভিন্ন ভিন্ন 'জিন' (gene) নির্দিষ্ট DNA অংশ দ্বারা গঠিত। এই DNA অণুগুলির ছাঁচে RNA অণু সশ্লেষিত হয়। এই RNA অণুগুলি নিউক্লিয়াস হইতে রাইবোসোমের (ribosomes) গাত্রে সন্নিবেশিত হইয়া ছাঁচের (template) ন্যায় কার্য করে। এই RNA ছাঁচ হইতেই পলিপেপটাইড (polypeptide) সংশ্লেষিত হয়।

এক কথায়, DNA অণুর জেনেটিক সংবাদ (genetic information) RNA অণুতে লিপিবদ্ধ হওয়াকেই **প্রতিলিখন** (transcription) বলা হয়। বার্তা-বাহকের ন্যায় RNA একপ্রকার জেনেটিক সংবাদ সাইটোপ্লাসমের রাই-বোসোমে বহন করিয়া আনে। এই RNA কে "বার্তাবহ RNA" (messenger RNA or mRNA) বলা হয়। বার্তাবহ RNA-র জেনেটিক সংবাদ রাইবোসোম পঠিত হয় এবং পলিপেপটাইড সংশ্লেষে ব্যবহৃত হয়। জেনেটিক সংবাদের এই পর্যায়টিকে **অনুবাদন** (translation) বলা হয়। উপরোক্ত প্রতিলিখন এবং অণুবাদন পদ্ধতির দ্বারা প্রতিটি জিন এক একটি নির্দিষ্ট পলিপেপটাইড তথা উৎসেচক-প্রোটীন প্রস্তুত করে। এইভাবে জেনেটিক সংবাদ DNA হইতে RNA-এর মাধ্যমে প্রোটীনে স্থানান্তরিত হয়। সুতরাং প্রোটীন সংশ্লেষের কেন্দ্রীয় মতবাদটি (central dogma) নিম্নরূপ।

mRNA
প্রতিলিখন অনুবাদন
DNA ←———→ DNA ———→ mRNA ———→ প্রোটীন
DNA
প্রতিলিখন

জেনেটিক সংকেত-লিপি (Genetic code): উপরোক্ত অনুচ্ছেদে জেনেটিক বার্তা পরিবহনের কথা বলা হইয়াছে। কিন্তু প্রশ্ন হইতেছে এই জেনেটিক বার্তা বৃহৎ অণুতে কি ভাবে নিহিত থাকে এবং জেনেটিক সংকেত লিপি কি ? জেনেটিক সংকেত লিপির বর্ণগুলি এক একটি স্বতন্ত্র নিউক্লিওটাইড। যে কোনো তিনটি নিউক্লিওটাইড ত্রয়ী (nucleotide triplet) একত্রিত হইয়া সংকেত লিপি বা **কোডন** (codon) সৃষ্টি করে। গাণনিক হিসাব অনুযায়ী চারি প্রকার নিউক্লিওটাইড 64টি সম্ভাব্য কোডন সৃষ্টি করে। যেহেতু 64টি কোডন 20টি প্রোটীন সংশ্লেষকারী অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংকেত-লিপি বহণ করে, সুতরাং ইহা নিশ্চিত যে কোনো একটি বিশেষ অ্যামাইনো অ্যাসিডের

সংকেত-লিপি একের বেশী কোডনে উপস্থিত। জেনেটিক সংকেত-লিপির এই ব্যাখ্যা ওকোয়া (Ochoa, 1959) এবং পরবর্তী পর্যায়ে নিরেনবার্গ ও মাথাই (Nirenberg and Matthai, 1961) বিশদ ভাবে পরীক্ষা করেন। নিরেনবার্গ ও সহকর্মীবৃন্দ ইউরাসিল, অ্যাডিনিন এবং সাইটোসিন নিউক্লিওটাইড সহ-যোগে পৃথক পৃথক কৃত্রিম বর্তাবহ RNA (mRNA) প্রস্তুত করিয়া, পলিপেপ-টাইড সংশ্লেষের কৃত্রিম পরিবেশ সৃষ্টি করিয়া কোষ-মুক্ত (cell-free) পরিবেশে

তালিকা 11 ঃ জেনেটিক সংকেত-লিপি (Genetic code)

(প্রতিটি সংকেত শব্দ তিনটি বেস লইয়া গঠিত)

১ম বেস 5'-OH প্রান্তে	মধ্যম বেস U	C	A	G	৩য় বেস 3'-OH প্রান্তে
U	ফিনাইল অ্যালানিন ফিনাইল অ্যালানিন লিউসিন লিউসিন	সেরিন সেরিন সেরিন সেরিন	টাইরোসিন টাইরোসিন * * * *	সিষ্টিন সিষ্টিন * * টাইরোসিন	U C A G
C	লিউসিন লিউসিন লিউসিন লিউসিন	প্রোলিন প্রোলিন প্রোলিন প্রোলিন	হিস্টিডিন হিস্টিডিন গ্লুটামিন গ্লুটামিন	আরজিনিন আরজিনিন আরজিনিন আরজিনিন	U C A G
A	আইসো লিউসিন আইসো লিউসিন আইসো লিউসিন মিথায়োনিন *	থ্রিয়োনিন থ্রিয়োনিন থ্রিয়োনিন থ্রিয়োনিন	অ্যাসপারাজিন অ্যাসপারাজিন লাইসিন লাইসিন	সেরিন সেরিন আরজিনিন আরজিনিন	U C A G
G	ভ্যালাইন ভ্যালাইন ভ্যালাইন ভ্যালাইন *	অ্যালানিন অ্যালানিন অ্যালানিন অ্যালানিন	অ্যাসপারটিক অ্যাঃ অ্যাসপারটিক অ্যাঃ গ্লুটামিক অ্যাসিড গ্লুটামিক অ্যাসিড	গ্লাইসিন গ্লাইসিন গ্লাইসিন গ্লাইসিন	U C A G

* শৃঙ্খল সূচক কোডন

* * শৃঙ্খল অবসান কোডন [UAA, UAG এবং UGA এই তিনটি কোডনকে অর্থহীন কোডন (nonsense codon) বলা হয়]

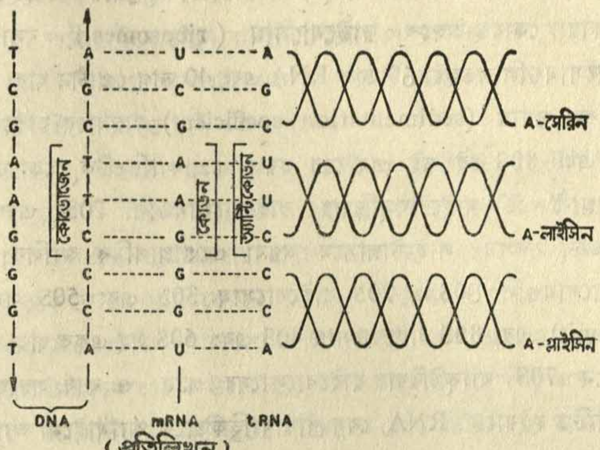
উপরোক্ত নিউক্লিওটাইডগুলি পৃথকভাবে প্রবেশ করান। উপরোক্ত পরিবেশে তাহারা Poly U, Poly A এবং Poly C নামক ইউরাসিল, অ্যাডিনিন এবং

সাইটোসিন নিউক্লিওটাইডের তিনটি পলিমার প্রস্তুত করিতে সক্ষম হন। দেখা যায় Poly U শুধুমাত্র ফিনাইল অ্যালানিন সমন্বিত পলিপেপটাইড, এবং Poly A ও Poly C লাইসিন ও প্রোলিন সমন্বিত পলিপেপটাইড। সুতরাং তিন বর্ণ-সংকেতলিপিতে (three-letter code) UUU, AAA এবং CCC যথাক্রমে ফিনাইল অ্যালানিন, লাইসিন ও প্রোলিনের কোডন নিহিত থাকে। অতঃপর 1968 খৃষ্টাব্দে খোরানা (Khorana) এবং সহকর্মীদের বিশদ পরীক্ষাদ্বারা প্রোটীনসংশ্লেষকারী 20টি অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংকেত-লিপি চিহ্নিত করা এবং RNA ও DNA সংকেত-লিপির পাঠোদ্ধার করা সম্ভব হইয়াছে।

প্রতিলিখন (Transcription) : যুগ্ম পেঁচালো (double helix) DNA অণুর দুইটি সূত্রের (strands) একটির প্রতিলিপি গঠিত হয়। DNA সূত্রটি ছাঁচের (template) ন্যায় কার্য করে। এই ছাঁচ অনুসারে পূরক RNA অর্থাৎ mRNA প্রস্তুত হয়। RNA প্রস্তুতকালে বেস মিলনের বিন্যাস প্রণালী নিম্নরূপ : mRNA-র ইউরাসিল (uracil) ও আরজিনিন যথাক্রমে DNA অণুর অ্যাডিনিনের (adenine) ও থাইমিনের অনুরূপ এবং mRNA-র গুয়ানিন ও সাইটোসিন (cytosine) যথাক্রমে DNA অণুর গুয়ানিনের (guanine) ও সাইটোসিনের অনুরূপ। প্রকৃতপক্ষে, উপরোক্ত বেস মিলন যুগ্ম পেঁচালো DNA অণুর দুইটি সূত্র বেস মিলনের অনুরূপ কেবলমাত্র mRNA অণুতে থাইমিনের পরিবর্তে ইউরাসিল মিলিত হয়।

নিউক্লিওটাইড ত্রয়ী DNA অণুর প্রয়োজনীয় কার্মিক (functional) একক। mRNA কোডনের অনুরূপ DNA পুরককে **কোডোজেন** (codogen) বলে ; এক্ষেত্রে শুধুমাত্র ইউরাসিল ও থাইমিনের পরিবর্তত ঘটে। সুতরাং RNA সংকেত-লিপি পাঠোদ্ধার করিয়া DNA সংকেত লিপি প্রকাশ করা হইয়া থাকে (চিত্র-51)।

$$\begin{matrix} n_1\ \text{ATP} \\ n_2\ \text{GTP} \\ n_3\ \text{UTP} \\ n_4\ \text{CTP} \end{matrix} \xrightarrow[\text{DNA}]{\text{RNA পলিমারেজ}} \text{RNA}\begin{matrix} \overline{\text{AMP}}\ n_1 \\ \text{GMP}\ n_2 \\ \text{UMP}\ n_3 \\ \text{CMP}\ n_4 \end{matrix} + (n_1+n_2+n_3+n_4)\ \text{PP}$$



চিত্র-51 : প্রোটীন সংশ্লেষে প্রতিলিখন (transcription) পর্যায়।
DNA-র কোডোজেন, mRNA-র কোডন ও tRNA-র
অ্যান্টিকোডনের সহিত সম্পর্ক।

mRNA প্রস্তুতির সময় নিউক্লিওটাইডের পরিবর্তে নিউক্লিওসাইড-5′-ট্রাইফস্‌ফেট প্রারম্ভিক উপকরণ রূপে ব্যবহৃত হয়। এই নিউক্লিওসাইড ফস্‌ফেটগুলি বেস মিলনের নিয়মানুসারে DNA ধাত্রে অবস্থিত থাকে। DNA নির্ভরশীল-RNA পলিমারেজ নামক নির্দিষ্ট উৎসেচকটি ট্রাইফস্‌ফেট হইতে পাইরোফস্‌ফেট (PP) অংশ মুক্ত করিয়া অবশিষ্টাংশ (অর্থাৎ নিউক্লিওসাইড-5-মনোফস্‌ফেট নিউক্লিওটাইড অংশ) RNA-র সহিত যুক্ত হয়। ভুট্টা ও মটর চারা গাছে RNA পলিমারেজ উৎসেচকের কার্যকারিতার বিশদ্ ব্যাখ্যা দেওয়া হইয়াছে।

অনুবাদন (Translation) : mRNA হইতে পলিপেপটাইড প্রস্তুত অনুবাদন পর্যায়ের অন্তর্ভুক্ত। রাইবোসোম + mRNA বা পলিরাইবোসোম (polyribosomes), অ্যামাইনো-অ্যাসিল-tRNA সিন্থেটেজ, অ্যামাইনো অ্যাসিড, ATP, tRNA এবং পলিপেপটাইড প্রস্তুতির সূচনা (initiation), বৃদ্ধি (elongation) এবং শেষ (termination) ঘটনাসমূহ অনুবাদন প্রক্রিয়ার অন্তর্ভুক্ত।

(ক) **রাইবোসোম ও পলিরাইবোসোম** (Ribosomes and polyri-

bosomes) : সাইটোপ্লাসম, প্লাস্টিড ও মাইটোকন্ড্রিয়ায় অবস্থিত ক্ষুদ্র গোলাকার কোষস্থ-অঙ্গকে **রাইবোসোম** (ribosomes) বলা হয়। রাইবোসোমগুলি শতকরা 60 ভাগ RNA এবং 40 ভাগ প্রোটীন দ্বারা গঠিত। অবক্ষেপন গুণাঙ্ক (sedimentation coefficient) অনুসারে রাইবোসোম 70S* এবং 80S এই দুই প্রকারের হয়। প্রোক্যারিওটিক্ কোষের এবং ক্লোরোপ্লাস্ট ও মাইটোকন্ড্রিয়ার রাইবোসোমগুলি 70S এবং ইউ-ক্যারিওটিক্ কোষের সাইটোপ্লাসমে অথবা এণ্ডোপ্লাসমিক জালিকা গাত্রের রাইবোসোমগুলি 80S। 70S রাইবোসোম 30S এবং 50S সহ-একক (sub-unit) এবং 80S রাইবোসোম 40S এবং 60S সহ-একক দ্বারা গঠিত। বর্তমানে 70S ব্যাক্‌টিরিয়ার রাইবোসোমের গঠন ও কার্য সম্বন্ধে বিশদ্ আলোচিত হইয়াছে। RNA বেস ধারাবাহিকতাকে অ্যামাইনো অ্যাসিডের ধারাবাহিকতাতে অনুবাদন করিবার জন্য রাইবোসোম গাত্রে mRNA ও tRNA সংযোজনের বিভিন্ন স্থান বর্তমান। mRNA নিউক্লিয়াস হইতে মুক্ত হইয়া রাইবোসোমের 30S সহ-এককে যুক্ত হয় এবং এই স্থানেই কোডন এবং অ্যান্টিকোডনের মিলন ঘটে। অ্যামাইনো-অ্যাসিল-tRNA গুলি রাইবোসোমের 50S সহ-এককে যুক্ত হয়।

প্রোটীন সংশ্লেষিত হইবার পূর্বে 80S বা 70S রাইবোসোমের 60S এবং 40S ও 30S এবং 50S সহ-এককদ্বয় পৃথক পৃথক ভাবে থাকে। প্রোটীন সংশ্লেষকালে এই দুইটি সহ-একক যুক্ত হইয়া 80S বা 70S রাইবোসোম সৃষ্টি করে। পলিপেপটাইড সংশ্লেষ অন্তে 80S বা 70S রাইবোসোম পুনরায় 60S এবং 40S ও 30S এবং 50S দুইটি সহ-এককে বিশ্লেষিত হয়। ইহারা পুনরায় প্রোটীন সংশ্লেষে কার্যকারী। রাইবোসোম সহ-এককের যুক্ত ও পুনরায় মুক্ত হওয়ার পদ্ধতিকে **রাইবোসোম চক্র** (ribosome cycle) বলা হয়। পলিপেপটাইড প্রস্তুতের সময় রাইবোসোমের 30S এবং 50S সহ-এককদ্বয় যুক্ত হইয়া mRNA সংকেত লিপিকে পঠিত করিতে সাহায্য করে। একবারে একটি কোডন বা একটি পলিপেপটাইড প্রস্তুত হয়। প্রথম কোডন পঠিত হইলে রাইবোসোমটি সরিয়া যায় এবং সেইস্থানে অপর একটি রাইবোসোম যুক্ত হয় এবং দ্বিতীয় রাইবোসোমটি প্রথম রাইবোসোমের ন্যায় পঠনে সাহায্য করে।

*** S=Svedberg unit**

এইভাবে একটি mRNA-র সহিত একাধিক রাইবোসোম যুক্ত থাকে বলিয়া ইহাদের **পলিরাইবোসোম** বা **পলিসোম** (polyribosome বা polysome) বলা হয়। সুতরাং পলিরাইবোসোম আটটি রাইবোসোম সমন্বিত হইলে আটটি পলিপেপটাইড কপি সৃষ্টি হইবে।

প্রোটীন সংশ্লেষে রাইবোসোম প্রোটীন ও রাইবোসোম-RNA-র সঠিক কার্য অজ্ঞাত। রিভেল (Revel) এবং সহকর্মীবৃন্দ 1972 খৃষ্টাব্দে স্ট্রেপটোমাইসিন (streptomycin) দ্বারা প্রমাণ করেণ যে, রাইবোসোম প্রোটীন 30S সহ-এককে কোডন-অ্যান্টিকোডন মিলনে সহায়ক। রাইবোসোমের 50S সহ-এককে পেপটিডিল ট্রান্সফারেজ (peptidyl transferase) ও অন্যান্য প্রোটীন-উৎসেচক থাকায় উহারা পেপটাইড বন্ধনীতে সহায়তা করে।

(খ) **অ্যামাইনো অ্যাসিডের সক্রিয়তা এবং tRNA-তে স্থানান্তকরণ ঃ** (Activation and transfer of amino acids to tRNA) : অ্যামাইনো অ্যাসিড পেপটাইড সংশ্লেষের পূর্বে ATP-র সাহায্যে সক্রিয় হয়। সক্রিয় অ্যামাইনো অ্যাসিড পরবর্তী পর্যায়ে স্থানান্তরণ RNA-র (tRNA) সহিত যুক্ত হয়। উপোরোক্ত পর্যায় দুইটিকে নিম্নের সমীকরণে সাহায্যে বুঝানো হইল।

সক্রিয়তা (activation)

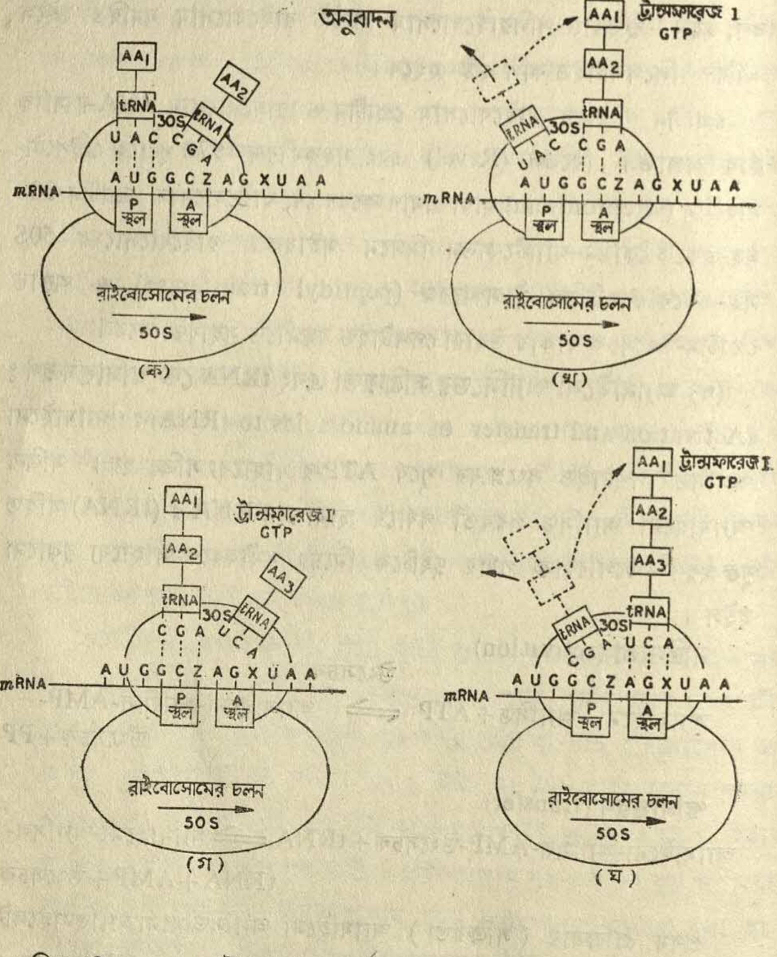
$$\text{অ্যামাইনো অ্যাসিড} + \text{ATP} \xrightleftharpoons{\text{উৎসেচক}} \text{অ্যামাইনো-অ্যাসিল-AMP-উৎসেচক} + \text{PP}$$

স্থানান্তরণ (transfer)

$$\text{অ্যামাইনো-অ্যাসিল-AMP-উৎসেচক} + \text{tRNA} \rightleftharpoons \text{অ্যামাইনো-অ্যাসিল-tRNA} + \text{AMP} + \text{উৎসেচক}$$

প্রথম প্রক্রিয়ায় (সক্রিয়তা) অ্যামাইনো অ্যাসিড মনোঅ্যাডিনাইলেট উৎসেচকের সহিত পরিবেষ্টিত থাকে এবং পাইরোফস্‌ফেট (PP) মুক্ত হয়। দ্বিতীয় পর্যায়ে সক্রিয় অ্যামাইনো অ্যাসিড tRNA-র সহিত যুক্ত হইয়া অ্যামাইনো-অ্যাসিল-tRNA প্রস্তুত হয় এবং AMP ও উৎসেচক মুক্ত হয়। উপরোক্ত দুইটি বিক্রিয়াই অ্যামাইনো অ্যাসিল-tRNA সিন্থেটেজ (amino acyl-tRNA synthetase) নামক উৎসেচকের মাধ্যমে সাধিত হয়।

সমস্ত জ্ঞাত tRNA-র গঠন 1965 খৃষ্টাব্দে হোলি (Holley) ক্লোভার-



চিত্র-52 : ক-ঘ প্রোটীন সংশ্লেষের অনুবাদন পর্যায়গুলি দেখানো হইয়াছে। ক. রাইবোসোমের 30S অংশের **P** ও **A** স্থলে কোডনের অবস্থান এবং অনুরূপ অ্যান্টিকোডন স্থাপন। খ. ট্রান্সফারেজ **I** ও **GTP**-র সাহায্যে AA_1 ও AA_2-র সংযুক্তি। গ. রাইবোসোম চলনের ফলে **P** ও **A** স্থলে নূতন অ্যান্টিকোডনের অবস্থান। **A** স্থলে অনুরূপ AA_3-র স্থাপন। ঘ. পুনরায় ট্রান্সফারেজ **I** ও **GTP**-র সাহায্যে AA_1-AA_2 ও AA_3-র সংযুক্তি।

পাতার গঠন (clover-leaf structure) রূপে বর্ণনা করেন। tRNA গুলির একপ্রান্তে CCA নিউক্লিওটাইড ধারাবাহিকতা বর্তমান থাকে এবং প্রত্যেক tRNA-র তিনটি কার্যকারী অংশ বিদ্যমান।

(1) উপযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিল-tRNA সিন্থেটেজ শণাক্তকরণ অংশ,

(ii) অ্যামাইনো অ্যাসিড সংযোজন অংশ এবং

(iii) ছাঁচ শণাক্তকরণ অংশ অর্থাৎ অ্যান্টিকোডন।

অ্যামাইনো অ্যাসিল-tRNA সিন্থেটেজ অংশের কার্য হইল, বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডের মিশ্রণ হইতে tRNA যুক্ত সম্ভাব্য নির্দিষ্ট অ্যামাইনো অ্যাসিডকে নির্বাচিত করা। এই অংশের কার্যকারিতার বিশদ বিবরণ এখনও প্রমাণ সাপেক্ষ। নির্দিষ্ট অ্যামাইনো অ্যাসিড নির্বাচিত হইবার পর তাহারা অ্যামাইনো অ্যাসিড সংযোজন অংশে যুক্ত হয়। t-RNA-র এই সংযোজন অংশ সর্বদা তাহাদের CCA প্রান্তে পরিলক্ষিত হয়।

(গ) **রাইবোসোম গাত্রে অনুবাদন** (Translation on the ribosomes)ঃ রাইবোসোম গাত্রে অনুবাদন বা পলিপেপটাইড সৃষ্টি, এক অ্যামাইনো অ্যাসিডের ধাপে ধাপে সংযুক্তির ফলে সংঘটিত হয়। এই সংযুক্তি অ্যামাইনো প্রান্তে আরম্ভ হইয়া কার্বক্সিল প্রান্তে শেষ হয়। শৃঙ্খল সূচনা (chain initiation), শৃঙ্খলবৃদ্ধি (chain elongation) এবং শৃঙ্খল অবসান (chain termination) এই তিনটি পর্যায়ের মাধ্যমে পলিপেপটাইড শৃঙ্খলের সৃষ্টি হয়।

প্রোক্যারিওট এবং ভাইরাসের ক্ষেত্রে mRNA-র AUG (GUG) কোডন অনুবাদনের **সূচনা** (initiation) করে। এই কোডন প্রথমে ফরমাইল-মিথায়োনিন-tRNA কে (f-*met*-tRNA) যুক্ত করে এবং সঙ্গে সঙ্গে সূচক প্রভাবক এবং রাইবোসোমের সহ-এককগুলি দ্বারা একটি যৌগ সৃষ্টি করে। অতঃপর রাইবোসোম কার্যকর হয়। ইউক্যারিওট্ জীবের ক্ষেত্রে f-*met*-tRNA-এর পরিবর্তে মিথায়োনিন-tRNA (*met*-tRNA) প্রথম mRNA কোডনের সহিত যুক্ত হয়। সুতরাং উভয় ক্ষেত্রেই অনুবাদনের সূচক সংকেত-রূপে m-RNA-র AUG বা GUG কোডন ব্যবহৃত হয়।

এর পরবর্তী পর্যায়ে পেপটাইডের **শৃঙ্খল বৃদ্ধি** (chain elongation) সাধিত হয়। একটি রাইবোসোমে mRNA-র একটি মাত্র কোডন একবারে

গঠিত হয়। অ্যামাইনো অ্যাসিল-tRNA-র কোডনের পূরক (complementary) অ্যান্টিকোডন গঠনের কার্যে সাহায্য করে। সুতরাং এই পর্যায়ে tRNA-র অ্যান্টিকোডন অংশটি (অথবা ছাঁচ অংশ) পেপটাইড প্রস্তুতিতে অংশ গ্রহণ করে। এর পরবর্তী পর্যায়ে রাইবোসোম সম্ভবত mRNA অণুর গাত্র বাহিয়া আগাইয়া চলে এবং ফলে অন্য নতুন একটি কোডন গঠন যোগ্য হয়। ফলে অপর অ্যামাইনো অ্যাসিল-tRNA অন্য একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডকে ঐ স্থানে লইয়া আসে। অতঃপর শৃঙ্খলবৃদ্ধির প্রভাবক এবং উৎসেচক প্রথম অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গের সহিত দ্বিতীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গ পেপটাইড বন্ধনে সাহায্য করে। পেপটাইড শৃঙ্খল সৃষ্টি হইবার পর প্রথম t-RNA মুক্ত হয়। বৈজ্ঞানিকদের মতে, গুয়ানসিন ট্রাই ফস্‌ফেটের (GTP) প্রান্তীয় ফস্‌ফেটটি পেপটাইড শৃঙ্খল সৃষ্টিতে সহায়তা করে।

এইভাবে ক্রমশঃ রাইবোসোমটি mRNA-র গাত্র বাহিয়া আগাইতে থাকিলে mRNAর নিউক্লিওটাইডের ক্রমবিন্যাসের উপর নির্ভর করিয়া বিশেষ বিশেষ অ্যামাইনো অ্যাসিড অণুগুলির পরস্পর যুক্ত হয় এবং ক্রমবর্ধমান একটি পলিপেপটাইড অণু উৎপন্ন হয়।

প্রোটীন সংশ্লেষের **শৃঙ্খল অবসান** (chain termination) পর্যায়ে অবসান সংকেত অবসান কোডনের (termination codon) উপর নির্ভরশীল। mRNA-র UAA, UAG এবং UGA এই তিনটি কোডন শৃঙ্খল অবসান কোডনের কার্য করে। শৃঙ্খল অবসান পদ্ধতিটি শৃঙ্খল সূচনা পদ্ধতির ন্যায় জটিল। শৃঙ্খল অবসান কোডন, শৃঙ্খল অবসান প্রভাবের দ্বারা প্রভাবান্বিত হইয়া পেপটাইড শৃঙ্খলের অবসান ঘটায়। পেপটাইড শৃঙ্খলের অবসান ঘটিলে রাইবোসোমের সহ-এককগুলি পৃথক হইয়া যায় এবং পুনরায় প্রোটীন সংশ্লেষের ব্যবহৃত হয়।

এইভাবে সংকেত লিপির ধারাবাহিকতা অনুবাদিত হইয়া অ্যামাইনো অ্যাসিডের ধারাবাহিকতা বজায় রাখে এবং পলিপেপটাইড শৃঙ্খল প্রস্তুত করে। শৃঙ্খল অবসান হইলে পলিপেপটাইড শৃঙ্খলটি রাইবোসোম হইতে মুক্ত হয়।

নাইট্রোজেন চক্র (Nitrogen Cycle) **:** পরিবেশের বিভিন্ন নাইট্রোজেন

ঘটিত সরল যৌগের মধ্যে অ্যামোনিয়া (NH_3), জৈব অ্যামাইড (organic amides), নাইট্রোজেন (N_2), নাইট্রাস ও নাইট্রিক অক্সাইড (N_2O and NO), নাইট্রাইট (NO_2^-), নাইট্রেট (NO_3^-) এবং নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2) বিশেষ উল্লেখযোগ্য। পরিবেশের বিভিন্ন নাইট্রোজেন যৌগগুলি চক্রাকারে আবর্তিত হইয়া বায়ুমণ্ডল ও মৃত্তিকার নাইট্রোজেন পরিমাণের সমতা রক্ষা করে।

প্রাকৃতিক পরিবেশে নাইট্রোজেন অতীব জারিত (oxidised) বা বিজারিত (reduced) অবস্থায় বর্তমান। মৃত্তিকা ও বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন নাইট্রোজেন যৌগগুলির জারণস্তর (oxidation level) বিভিন্ন জারণ সংখ্যা দ্বারা সূচিত হয়।

	NO_3	NO_2	N_2O_2	N_2	NH_2OH	NH_3
জারণ সংখ্যা⟶	+5	+3	+1	0	−1	−3

জীবমণ্ডলের নাইট্রোজেন চক্রের দুইটি প্রধান উপাদান হইল, জৈবিক ও অ-জৈবিক পদ্ধতিতে নাইট্রোজেনের রাসায়নিক রূপান্তর এবং ভৌত রূপান্তর। নাইট্রোজেন সংবন্ধন (nitrogen fixation) দ্বারা নাইট্রোজেনের অ্যামোনিয়াতে রূপান্তর, বিভিন্ন জৈব-নাইট্রোজেনের মাধ্যমে অ্যামোনিয়ার আত্মীকরণ, অ্যামোনিফিকেশন (ammonification) দ্বারা বিভিন্ন জৈব-নাইট্রোজেনের অ্যামোনিয়াতে রূপান্তর, অ্যামোনিয়া হইতে নাইট্রেটের নাইট্রিফিকেশন (nitrification) এবং ডিনাইট্রিফিকেশন (denitrification) পদ্ধতি দ্বারা নাইট্রেটের নাইট্রোজেনে রূপান্তরগুলি নাইট্রোজেনের জৈবিক-রাসায়নিক রূপান্তররূপে পরিণত হয় (চিত্র-53)।

বায়ুমণ্ডলে নাইট্রোজেনের অজৈবিক রাসায়নিক রূপান্তর নিম্নলিখিত পদ্ধতিতে সংঘটিত হয়। (ক) বিদ্যুৎ প্রবাহে নাইট্রোজেন অক্সিজেন ও জলের সহিত বিক্রিয়া ঘটাইয়া নাইট্রাইটে রূপান্তরিত হয়

$$N_2 + O^+ \longrightarrow NO^+ + N$$

$$NO^+ + H_2O \longrightarrow 2H^+ + NO_2^-$$

(খ) ফোটোলাইসিস প্রক্রিয়ায় নাইট্রাস অক্সাইড (N_2O) নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনে অথবা নাইট্রিক অক্সাইড ও নাইট্রোজেনে রূপান্তরিত হয়।

$$N_2O \longrightarrow N_2 + O$$
$$N_2O \longrightarrow NO + N$$

(গ) ওজোনাইজেশন (ozonization) প্রক্রিয়ায় নাইট্রোজেন জারিত হইয়া নাইট্রাস অক্সাইড অথবা নাইট্রিক অক্সাইড নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইডে রূপান্তরিত হয়।

$$N_2 + O_3 \longrightarrow N_2O + O_2$$
$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

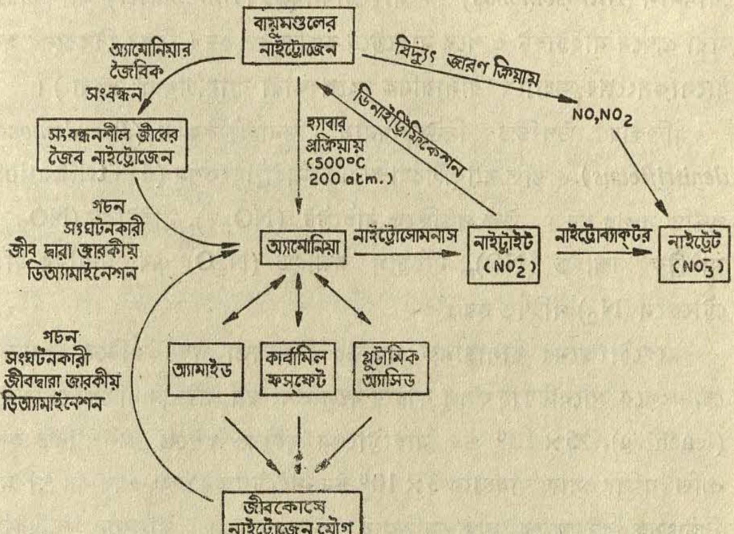
সাধারণভাবে নাইট্রোজেনের ত্রিবন্ধ ($N \equiv N$) 225 কিলো ক্যালরি শক্তির ধারক। এই স্থায়ী নাইট্রোজেনের অজৈবিক রাসায়নিক রূপান্তর হ্যাবার পদ্ধতি (Haber process) দ্বারা সংঘটিত হইয়া থাকে। এই পদ্ধতিতে নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন অধিক উষ্ণতা ও চাপে অ্যামোনিয়াতে রূপান্তরিত হয়। এই অ্যামোনিয়া বর্তমানে নাইট্রোজেনঘটিত সার প্রস্তুতিতে বহুল ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

$$N_2 + 3H_2 \xrightarrow[200\ atm]{500^\circ C} 2NH_3$$

নাইট্রোজেনের ভৌত রূপান্তর নিম্নলিখিত পদ্ধতির মাধ্যমে সংঘটিত হয়: (ক) বাষ্পীভবন (volatilazation) পদ্ধতি দ্বারা অ্যামোনিয়াম নাইট্রোজেনের বায়ুমণ্ডলে মুক্তি, (খ) বৃষ্টি ও কুয়াশার মাধ্যমে অ্যামোনিয়াম, নাইট্রাইট ও নাইট্রেট নাইট্রোজেন অধঃক্ষেপন (precipitation) পদ্ধতি দ্বারা মৃত্তিকা ও সমুদ্রে প্রত্যাবর্তন, (গ) আগ্নেয়গিরি বিস্ফোরণের (volcanic eruption) প্রাথমিক শিলার নাইট্রোজেন বায়ুমণ্ডলে আণবিক নাইট্রোজেনে রূপান্তর এবং (ঘ) বায়ুমণ্ডল ও মৃত্তিকার অজৈবিক নাইট্রোজেন চোয়াইয়া (leaching) এবং ধৌত হইয়া (runoff) নদী, নালা ও বৃষ্টির মাধ্যমে সমুদ্রে সমাবেশ।

আণবিক নাইট্রোজেন অক্সিজেন বা হাইড্রোজেনের সহিত যুক্ত হইয়া নাইট্রোজেন সংবন্ধন (N_2 fixation) ঘটাইয়া থাকে। সুতরাং অজৈবিক নাইট্রোজেন সংবন্ধন জৈবিক নাইট্রোজেন সংবন্ধনের ন্যায় গুরুত্বপূর্ণ। হ্যাবার পদ্ধতি ব্যতীত সমস্ত অজৈবিক সংবন্ধন জারকীয় (oxidative)। অপরপক্ষে, জৈবিক নাইট্রোজেন সংবন্ধন একটি বিজারকীয় (reductive) পদ্ধতি। মৃত্তিকায় জৈবিক নাইট্রোজেনের সংবন্ধন বিভিন্ন প্রকার ব্যাক্টিরিয়া ও নীলাভ-সবুজ

শৈবাল দ্বারা সংঘটিত হয়। (বিশদ বিবরণ "নাইট্রোজেন সংবন্ধন" অংশ দ্রষ্টব্য)। মৃত্তিকায় জৈবিক নাইট্রোজেন সংবন্ধন অধিক করিয়া মৃত্তিকায় নাইট্রোজেনের পরিমাণ বৃদ্ধির জন্য বর্তমানে মৃত্তিকায় অবাধে রাইজোবিয়াম (*Rhizobium*) ব্যাক্টিরিয়া কর্ষণ করা হইয়া থাকে। অনেকক্ষেত্রে, নীলাভ-সবুজ শৈবালের কেক (blue-green algal cakes), অ্যানাবিনা অ্যাজোলি (*Anabaena azollae*) ও কতিপয় মৃত্তিকাস্থিত অ্যাজোটোব্যাক্টর (*Azotobacter*) অবাধে



চিত্র-53 : নাইট্রোজেন চক্র

মৃত্তিকায় মিশাইয়া দেওয়া হয়। উপরোক্ত শৈবাল ও ব্যাক্টিরিয়া অধিক মাত্রায় নাইট্রোজেন সংবন্ধনে কার্যকর বলিয়া মৃত্তিকায় ইহাদের উপস্থিতিতে অধিক মাত্রায় নাইট্রোজেন সংবন্ধন ঘটিয়া থাকে। একই উদ্দেশ্যে বর্তমানে জৈবিক-সারের (bio-fertilizers) বহুল প্রচলন পরিলক্ষিত হয়।

উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদের মূলমণ্ডল (rhizosphere) এবং পত্রমণ্ডলে (phyllosphere) স্বাধীনজীবী ব্যাক্টিরিয়ার মিলনে নাইট্রোজেন সংবন্ধন পরিলক্ষিত হয়। উপরোক্ত পদ্ধতিদ্বারা মৃত্তিকায় নাইট্রোজেনের জৈবিক সংবন্ধন বৃদ্ধি করা হইয়া থাকে। জৈবিক সংবন্ধনের উৎপাদিত অ্যামোনিয়া আত্মীকরণ

প্রক্রিয়ায় জৈব যৌগে রূপান্তরিত হয়। অ্যামোনিয়া ও নাইট্রেটের আত্মীকরণ সমস্ত উদ্ভিদের সংঘটিত হইয়া থাকে।

আত্মীকরণ পদ্ধতির পরবর্তী পর্যায় অ্যামোনিফিকেশন (ammonification)। উদ্ভিদ ও প্রাণীর মৃত্যুর পর তাহাদের জৈব যৌগ মাইক্রোকক্কাস ইত্যাদি বহু মৃত্তিকাস্থিত ব্যাক্‌টিরিয়ার দ্বারা অ্যামোনিয়ায় রূপান্তরিত হয়। এই অ্যামোনিয়াম আয়ণ নাইট্রিফিকেশান (nitrification) পদ্ধতিতে নাইট্রোসোমনাস (*Nitrosomonas*) এবং নাইট্রোব্যাক্‌টর (*Nitrobacter*) ব্যাক্‌টিরিয়া দ্বারা প্রথমে নাইট্রাইট ও পরে নাইট্রেটে রূপান্তরিত হয় (বিশদ বিবরণের জন্য সালোকসংশ্লেষ অধ্যায়ে "রাসায়নিক সংশ্লেষকারী ব্যাক্‌টিরিয়া" দ্রষ্টব্য)।

মৃত্তিকায় উপস্থিত সিউডোমনাস ডিনাইট্রিফিকান্স (*Pseudomonas denitrificans*) প্রভৃতি ব্যাক্‌টিরিয়া দ্বারা ডিনাইট্রিফিকেশন (denitrification) পদ্ধতি সম্পন্ন হয়। উক্ত পদ্ধতিতে নাইট্রেট (NO_3^-), নাইট্রাইট (NO_2^-), নাইট্রিক অক্সাইড (NO), নাইট্রাস অক্সাইড (N_2O) এবং আণবিক নাইট্রোজেনে (N_2) পরিণত হয়।

নাইট্রোজেনের রাসায়নিক পদ্ধতির বিশালতা লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে, বৎসরে আমেরিকায় ফসল কাটার ফলে এবং স্বল্প পরিমাণ মৃত্তিকা চোয়াইয়া (leaching), 25×10^6 টন নাইট্রোজেন মৃত্তিকা হইতে অপসারিত হয়। প্রতি বৎসর সার ব্যবহারে 3×10^6 টন নাইট্রোজেন এবং প্রায় সম পরিমাণ বিদ্যুৎসহ বৃষ্টিপাতের ফলে মৃত্তিকায় সংবন্ধন হয়। মৃত্তিকার অধিকাংশ নাইট্রোজেন (10×10^6 টন) জৈবিক নাইট্রোজেন সংবন্ধন দ্বারা মৃত্তিকায় প্রত্যাবর্তন করে। কিন্তু তৎসত্বেও অধিকাংশ মৃত্তিকায় নাইট্রোজেনের অভাব পরিলক্ষিত হয়। সুতরাং মৃত্তিকার উর্বরাশক্তি ঠিক রাখিবার জন্য ইহার প্রতিকার অত্যাবশ্যক।

বিভাগ III

নবম অধ্যায়

জল ও পরিবেশ

(Water and Environment)

জল জীবনের একটি অপরিহার্য বস্তু। জল ব্যতীত জীবনের কোন অস্তিত্ব থাকে না। জীবের উৎপত্তি জলীয় পরিবেশে এবং অভিব্যক্তির (evolution) ক্রমপর্যায়ে তাহারা জলের উপর সম্পূর্ণ নির্ভরশীল। জীবদেহে প্রচুর পরিমাণে জল বর্তমান এবং সমস্ত জৈবিক ক্রিয়াকলাপ এই জলের উপর নির্ভরশীল। জল জীবের নিম্নলিখিত প্রয়োজনে ব্যবহৃত হয়।

(ক) জল প্রোটোপ্লাস্‌মের একটি বিশেষ গঠন উপাদান, কখনও কখনও প্রোটোপ্লাস্‌মে শতকরা 95 ভাগ জল থাকে। জল বিয়োজনের (dehydration) ফলে প্রোটোপ্লাস্‌মের সক্রিয়তা নষ্ট হয় এবং একটি নির্দিষ্ট সীমার নীচে কোষস্থ প্রোটোপ্লাস্‌মের কার্যকারিতার অবসান ঘটে। কার্বোহাইড্রেট, প্রোটীন, নিউক্লিক অ্যাসিড প্রভৃতি জৈব যৌগগুলি প্রাকৃতিক ভাবে কোষে সোদক (hydrated) অবস্থায় বিদ্যমান, সুতরাং জল বিয়োজনের ফলে উপরোক্ত যৌগগুলির ভৌতিক ও রাসায়নিক ধর্মের পরিবর্তন ঘটে, ফলে কোষের সাধারণ অবস্থা রক্ষায় বাধাদান করে।

(খ) কোষের একাধিক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় জল সরাসরি অংশগ্রহণ করিয়া থাকে। বিভিন্ন বিপাকীয় প্রক্রিয়ার ঘনীভবন (condensation) এবং আর্দ্র বিশ্লেষণ (hydrolysis) বিক্রিয়াগুলিতে কোষস্থ জৈব যৌগ হইতে জলের বিতাড়ন বা সংযুক্তি ঘটে। কার্বোহাইড্রেট ও জৈব অ্যাসিডের আন্তঃ-পরিবর্তন (interconversion) জলের সাহায্যে ঘটিয়া থাকে।

$$(C_6H_{10}O_5)n + n\ H_2O \rightleftharpoons n\ (C_6H_{12}O_6)$$

শ্বেতসার   গ্লুকোজ

$$\text{HOOC—CH}_2\text{—CHOH—COOH} \underset{}{\overset{-H_2O}{\rightleftharpoons}} \text{HOOC—CH=CH—COOH}$$

ম্যালিক অ্যাসিড ফিউমারিক অ্যাসিড

সালোকসংশ্লেষের কার্বন বিজারণের জন্য প্রয়োজনীয় ইলেক্ট্রন বা হাইড্রোজেনের উৎস এবং শ্বসনে উৎপাদিত ফলস্বরূপ জলের ভূমিকা অনস্বীকার্য।

(গ) কোষে একাধিক যৌগের দ্রাবক (solvent) রূপে জলের বিশেষ প্রয়োজন।

(ঘ) কোষে প্রোটোপ্লাস্টের গহ্বরে (vacuole) জল অবস্থান করিয়া কোষের দৃঢ়তা তথা রসস্ফীতি (turgidity) রক্ষার্থে বিশেষ সাহায্য করে।

(ঙ) বিভিন্ন কোষের কোষপ্রাচীর মধ্যবর্তী সঙ্কীর্ণস্থান (microspace) জল পরিবেষ্টিত থাকায় কোষস্থ দ্রবণীয় যৌগগুলি এক কোষ হইতে অন্য কোষে স্থানান্তরিত হয়।

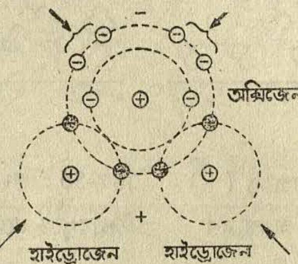
(চ) উপরোক্ত প্রয়োজন ব্যতীত জল উদ্ভিদের বিবিধ প্রয়োজনে নির্ভরশীল। যেমন, জাইলেম ও ফ্লোয়েম পরিবহণের মাধ্যম-রূপে জল ব্যবহৃত হয়। সচল গ্যামেটের নিষেক-ক্রিয়ায় জল অবশ্য প্রয়োজনীয়। অনেক সময় রেণু, ফল ও বীজের বিস্তারও (dispersal) জলের মাধ্যমে ঘটিয়া থাকে।

জলের আণবিক গঠন (Molecular Structure of water) ঃ জল প্রস্তুতের সময় হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের ইলেক্ট্রন (e^-) এমনভাবে বন্টিত হয় যে, বিক্রিয়ালব্ধ অণুটি দৃঢ় এবং নিষ্ক্রিয় হয়। জলের অণুগুলি তাড়িতাবস্থায় প্রশমিত (electrically neutral) কিন্তু ইলেক্ট্রনের অসম (asymmetric) বণ্টনের ফলে অণুগুলির একদিকে ধন আধান প্রাপ্ত (+) এবং অপরদিকে ঋণ আধানপ্রাপ্ত (−) থাকে। এই জাতীয় অণুকে **মেরুবর্তী*** (polar) অণু বলা হয়। মেরুবর্তী অণুগুলি তাড়িত ক্ষেত্রে ঋণাত্মক অংশ (—) ধনাত্মক (+) মেরুর দিকে এবং ধনাত্মক অংশ (+) ঋণাত্মক (—) মেরুর দিকে অবস্থান করে।

---

* অণুগাত্রে কোন আধান না থাকিলে তাহাকে অমেরুবর্তী (non polar) অণু বলা হয়। আয়ণবিহীন (non ionic) অমেরুবর্তী অণু যাহারা জলে স্বল্প আকৃষ্ট হয় তাহাদের হাইড্রোফবিক (hydrophobic) অণু এবং জলে আকৃষ্টকারী অণুকে অপরপক্ষে হাইড্রোফিলিক (hydrophilic) অণু বলা হয়।

এক অণু জলের ধন আধানের (+) সহিত অপর অণুর ঋণ আধানের (−) তাড়িত স্থৈতিক (electro static) আকর্ষণে **হাইড্রোজেন বন্ধনীর** (hydrogen bond) সৃষ্টি হয়। O···H হাইড্রোজেন বন্ধনীর বল (force) O—H বন্ধনী অপেক্ষা অনেকাংশে দুর্বল। প্রতি জল অণুতে দুইটি প্রোটন

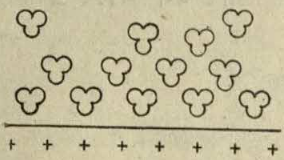


চিত্র-54 : জল অণুর রেখাচিত্র। দুই জোড়া বন্টিত (shared) এবং নিঃসঙ্গ (lone) ইলেক্ট্রন (তীর চিহ্নিত)। তীর চিহ্নিত স্থানে হাইড্রোজেন বন্ধনী ঘটে।

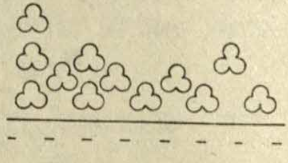
(+) এবং দুই জোড়া নিঃসঙ্গ (lone) ইলেক্ট্রন (−) থাকায় চারিটি হাইড্রোজেন বন্ধনী প্রস্তুত করে (চিত্র-54)। হাইড্রোজেন বন্ধনীগুলি চতুষ্কোণাকার রূপে (tetrahedrally) সজ্জিত থাকে, বরফের জল অণুতেও চতুষ্কোণাকার কেলাস বর্তমান। তরল জল অণুতে এই বন্ধনীগুলি বরফ অপেক্ষা অনিয়মিত ভাবে অবস্থিত। উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধনীগুলি দুর্বল হয়। তরল ও কঠিন অবস্থায় জলের রাসায়নিক গঠন H_2O হইলেও, সঠিক ভাবে ইহাকে $(H_2O)n$ রূপে চিহ্নিত করা সমীচিন কেননা n সংখ্যক অণু পরস্পর যুক্ত থাকে। উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে n সংখ্যার হ্রাস পায়।

জল অণুর সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধনী ব্যতীত অন্যান্য আধান প্রাপ্ত (charged) বস্তু অথবা আধানপ্রাপ্ত বস্তুর উপরিপৃষ্ঠেও এই বন্ধনী সমাধা হয়। আধানপ্রাপ্ত বস্তুর উপরিপৃষ্ঠে জলের অবস্থান নিম্নোক্ত প্রকারের হয়। আধানপ্রাপ্ত বস্তুর উপরিপৃষ্ঠে জলের পরিমাণ উপরিপৃষ্ঠের আধানের পরিমাণের উপর নির্ভরশীল (চিত্র-55 এবং 56)।

কোন অজৈব লবণ জলের সহিত মিশ্রিত করিলে ধনাত্মক (+) ও ঋণাত্মক (−) আয়নে পৃথক হয়। প্রতিটি আয়ন বিশেষ ভাবে সজ্জিত জল অণুর দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকায় জল দ্রবণে আয়নগুলি পৃথক থাকে।



চিত্র-55 : ধন আধানপ্রাপ্ত (+) বস্তুর উপরিপৃষ্ঠে জলের অবস্থান।



চিত্র-56 : ঋণ আধানপ্রাপ্ত (−) বস্তুর উপরিপৃষ্ঠে জলের অবস্থান।

জল কার্বোনিল (>C=O), অ্যামাইনো ($-NH_2$) এবং হাইড্রক্সিল (−OH) বর্গ সমন্বিত জৈব অণুর সহিত হাইড্রোজেন বন্ধনী দ্বারা যুক্ত হয়। কার্বোহাইড্রেট, প্রোটীন ও নিউক্লিক অ্যাসিড প্রভৃতি প্রয়োজনীয় জৈবিক অণুগুলিতে উপরোক্ত বর্গগুলি থাকায়, ঐ সমস্ত জৈব অণুর সহিত জল পরিবেষ্টিত (bounded) অবস্থায় থাকে।

জলের পৃথকীকরণ (Dissociation of water) **:** সাধারণ অবস্থায় জল হাইড্রোজেন (H^+) ও হাইড্রক্সিল (OH^-) আয়ন রূপে পৃথক হয়।

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

উপরোক্ত হাইড্রোজেন প্রোটনটি পুনরায় জল অণুর সহিত যুক্ত হইয়া হাইড্রোনিয়াম আয়নে (H_3O^+) রূপান্তরিত হয়।

$$2H_2O \longrightarrow H_3O^+ + OH^-$$

সাম্যাবস্থায় (at equilibruim) বিশুদ্ধ জলের হাইড্রোজেন ও হাইড্রক্সিল আয়নের ঘণত্বের পরিমাণ সমান এবং 25° সেন্টিগ্রেডে ইহার মান 10^{-14} গ্রাম-আয়ণ/লিটার। হাইড্রোজেন ও হাইড্রক্সিল আয়নের পরিমাণ সমান এবং প্রত্যেকের ঘণত্ব 10^{-7} গ্রাম-আয়ণ/লিটার। সুতরাং pH-কে হাইড্রোজেন আয়ণ ঘনত্বের ঋণাত্মক লগ্যারিথম্ রূপে গণ্য করিলে ($pH = -\log [H^+]$) বিশুদ্ধ জলের pH-এর মান 7। জলীয় দ্রবণে দ্রবীভূত বস্তুর পরিমাণের উপর pH-এর মান নির্ভরশীল। যে সমস্ত দ্রবণে হাইড্রোজেন

আয়ণের ঘনত্ব 10^{-7} গ্রাম-আয়ণ/লিটার-এর বেশী (pH<7) সেই সমস্ত দ্রবণ **আম্লিক** (acidic) ; অপরপক্ষে হাইড্রোজেন আয়ণের ঘনত্ব কম হইলে (pH>7) সেই দ্রবণটি **ক্ষারীয়** (alkaline)।

জলের ভৌতিক ধর্ম (Physical Properties of water) ঃ অধিক আণবিক গুরুত্ব সম্পন্ন যৌগ সাধারণ উষ্ণতায় তরল অথবা কঠিন অবস্থায় বর্তমান। অপরপক্ষে, স্বল্প আণবিক গুরুত্ব সম্পন্ন যৌগ ঐ উষ্ণতায় তরল অথবা গ্যাসীয় অবস্থায় বর্তমান। পদার্থের অনুগুলি যত বড় হইবে তাহাদের

তালিকা 12 ঃ বিভিন্ন বন্ধনীতে শক্তির পরিমাণ

বন্ধনী	বন্ধনী শক্তির পরিমাণ *(Kcal/mole)	বন্ধনী	বন্ধনী শক্তির পরিমাণ *(Kcal/mole)
আয়ণিক বন্ধনী		N—H	93
LiF	240	C—O	84
NaCl	183	C—C	83
KCl	165	S—H	81
NaI	163	C—N	70
কোভ্যালেণ্ট বন্ধনী		C—S	62
N≡N	225	O—O	33
C≡C	198	**হাইড্রোজেন বন্ধনী**	2—10
C=O	173		
C=C	145	† ভ্যান ডার ওয়াল আকর্ষণ শক্তি	1
O—H	110		
C—H	99		

* এক গ্রাম জলের 1° সেলসিয়াস (14·5-15·5C) বা সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধিতে যে তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে গ্রাম ক্যালরি (gcal) এবং এক হাজার গ্রাম ক্যালরিকে কিলো ক্যালরি (kcal) বলা হয়। এক ক্যালরি=4·18 জুল (joule)।

† সাধারণতঃ প্রশমিত অমেরুবর্তী অণুগুলিতে ইলেক্ট্রনের গতির ফলে যে শক্তির উদ্ভব হয় তাহাকে ভ্যান ডার ওয়ালের আকর্ষণ শক্তি বলে।

বন্ধনী শক্তি ভঙ্গন করিতে অধিক শক্তির (তাপের) প্রয়োজন। উদাহরণ স্বরূপ স্বল্প আণবিক গুরুত্ব সম্পন্ন হাইড্রোকার্বন (যেমন, মিথেন CH_4, আণবিক গুরুত্ব 16) সাধারণ অবস্থায় তরল অথবা গ্যাসীয়, অপরপক্ষ বেশী আণবিক গুরুত্ব সম্পন্ন (যেমন, ডিকেন, $C_{10}H_{22}$, আণবিক গুরুত্ব 142) তরল ও কঠিন। মিথেন, অ্যামোনিয়া, জল এবং কার্বন ডাই অক্সাইডের আণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে 16, 17, 18 এবং 44। ইহাদের মধ্যে একমাত্র জলই সাধারণ উষ্ণতায় তরল, অবশিষ্ট যৌগগুলি গ্যাসীয়। ইহার কারণ জল অণুগুলি একত্রিত হইয়া অধিক আণবিক গুরুত্ব সম্পন্ন যৌগের ন্যায় ব্যবহৃত হয়।

তরল অ্যামোনিয়া ব্যতীত জলের **আপেক্ষিক তাপ** (specific heat) সর্বাপেক্ষা বেশী। উপরোক্ত ধর্মের ফলে জল খুব মন্থর গতিতে গরম ও ঠাণ্ডা হয়।

জলের **গলন লীনতাপ** (latent heat of melting) এবং **বাষ্পীভবন লীনতাপ** (latent heat of vaporization) অস্বাভাবিক ভাবে অধিক। 0° সেন্টিগ্রেডে (C) এক গ্রাম বরফকে (কঠিন) ঐ উষ্ণতায় তরল করিতে যত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন তাহাকে জলের গলন লীনতাপ বলা হয়। জলের গলন লীনতাপের মান 80 ক্যালরি/গ্রাম। অপরপক্ষে, এক গ্রাম জলের তরল অবস্থা হইতে বাষ্পে পরিণত করিতে যত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন তাহাকে জলের বাষ্পীভবন লীনতাপ বলে। এক গ্রাম জলকে তরল হইতে বাষ্পীভবন করিতে 100° সেন্টিগ্রেডে 539 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন। বাষ্পীভবন লীনতাপের মান সাধারণতঃ উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল। বাষ্পমোচন বা প্রস্বেদনের (transpiration) সময় বাষ্পীভবন দ্বারা উদ্ভিদ শীতলাবস্থা লাভ করে।

অধিকাংশ তরল ঠাণ্ডা অবস্থায় সঙ্কুচিত হয় এবং হিমাঙ্কে (freezing point) তাহাদের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা অধিক হয়। জলের ক্ষেত্রে তাহাদের **সর্বাপেক্ষা অধিক ঘনত্ব 4° সেন্টিগ্রেডে পরিলক্ষিত হয়।** গভীর জলের উষ্ণতা 4° সেণ্টিগ্রেডের নিচে নামিলে তাহার উপরিভাগে বরফ জমে। এই বরফ নিচের জলকে হিমাঙ্কের নিকটবর্তী আসিতে বাধাদান করে। এই

কারণে, সর্বাপেক্ষা শীতল আবহাওয়ায় সমুদ্র অথবা গভীর জলাশয়ের জল কদাচিৎ কঠিন অবস্থায় পরিণত হয়।

পারদ ব্যতীত সমস্ত সাধারণ তরলের মধ্যে জলের **পৃষ্ঠটান** (surface tension) **সর্বাপেক্ষা অধিক**। 0·03 মি.মি. ব্যাসের কাঁচ নলের মাধ্যমে কৈশিকতার (capillarity) ফলে জল 4 ফিট (120 cm) পর্যন্ত উচ্চে উঠিতে পারে। এই কৈশিকতা ধর্মের জন্য সরু মৃত্তিকা গহ্বরের এবং উদ্ভিদ কোষ প্রাচীরের মাধ্যমে জল অতি সহজে চলাচল করিতে পারে। জল পরিবহণে জলের **সান্দ্রতা** (viscosity) এবং **প্রসারণ-সাধ্য শক্তি** (tensile strength) বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে।

জলে দ্রবীভূত বস্তুর উপস্থিতিতে তাহাদের উপরোক্ত সাধারণ ধর্মের তারতম্য পরিলক্ষিত হয়।

জল বর্ণহীন হওয়ায় ইহার সরণ-ক্ষমতা (transmission) অধিক ; ফলে দৃশ্যমান আলোকের একটি উল্লেখযোগ্য অংশ জলজ উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষে ব্যবহার করে। পাতার নিম্নস্তরের কোষেও আলোক প্রবেশে সক্ষম। জল আলোক বর্ণালীর (spectrum) লাল অংশ কিছুটা শোষণ করায় অধিক জলের নিচে নীল-সবুজ বর্ণ প্রেরিত হয়। বর্ণালীর অবলোহিত (infrared) অংশও জল শোষণ করায় ইহা তাপ অন্তরকের (insulator) কার্য করিলেও ইহাদের তাপের পরিবাহিতা (thermal conductivity) অত্যন্ত বেশী।

উপরোক্ত ধর্মের আলোচনা হইতে ইহা নিশ্চিত যে, উদ্ভিদের বিভিন্ন কার্যকারিতার জন্য জল একটি উপযুক্ত মাধ্যম রূপে কার্য করে। জলের এই অনুপম ধর্মকে যথাযথভাবে কার্যে লাগাইয়া উদ্ভিদ তাহাদের কার্য সমাধা করিয়া থাকে।

জলের বিশেষ ধর্ম এবং বায়ুমণ্ডলে জল ও অক্সিজেনের অবাধ উপস্থিতি পৃথিবীতে জীবের অস্তিত্ব সহজ করিয়াছে। জলের অভাবের জন্যই অনেকে মনে করেন ভিন্ন গ্রহে জীবের অস্তিত্ব নাই। তরল অ্যামোনিয়ার সহিত জলের ধর্মের বেশ কয়েকটি সাদৃশ্য আছে বলিয়া অনেকে মনে করেন গ্রহান্তরে অ্যামোনিয়া জলের বিকল্প হিসাবে ব্যবহৃত হইতে পারে। কিন্তু এখনও ইহার কোন নিশ্চিত প্রমাণ পাওয়া যায় নাই।

দশম অধ্যায়

ব্যাপন ও অভিস্রবণ

(Diffusion and Osmosis)

ক. **ব্যাপন** (Diffusion) : চরম শূন্য (0°K বা -273°C) উষ্ণতার উর্দ্ধে পদার্থের সমস্ত উপাদানগুলি গতিশীল অবস্থায় থাকে, এবং ইহাদের কিঞ্চিৎ গতীয় শক্তি (kinetic energy) বর্তমান। পদার্থের এই গতি অত্যন্ত এলোমেলো, পদার্থের অণু বা পরমাণুগুলি সর্বদিকে গতিশীল এবং প্রায়শই পরস্পর সঙ্ঘর্ষণে লিপ্ত হয়। উদাহরণস্বরূপ বায়ুমণ্ডলের কথাই ধরা যাক্। এই বায়ুমণ্ডলে নাইট্রোজেন, অক্সিজেন ও কার্বন ডাই অক্সাইড একটি নির্দিষ্ট পরিমাণে বর্তমান। বায়ুমণ্ডলের এই উপাদানগুলি সর্বদা এলোমেলো ভাবে চলমান। এখন এই বায়ুমণ্ডলে কোন সুগন্ধির বোতল উন্মুক্ত করিলে সুগন্ধি দ্রব্যের অণুগুলি ক্রমশঃ তরল অবস্থা হইতে গ্যাসীয় অবস্থায় ব্যাপন ক্রিয়ায় বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন গ্যাসের সহিত সমভাবে মিশ্রিত হইয়া যায়।

কোন নির্দিষ্ট অণুর স্বতঃস্ফূর্ত চলাচল দ্বারা ব্যাপন (diffusion) **প্রথা নির্দেশিত হয়**। একটি বীকারে জল কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় রাখিলে জল অণুর বাষ্পীভবন ঘটে। বীকারের চতুষ্পার্শ্বের বায়ু জলবাষ্পে সম্পৃক্ত হওয়া পর্যন্ত তরল জলের অণুগুলি গ্যাসীয় জল অণু অপেক্ষা অধিক শক্তিতে (রাসায়নিক বিভব) আবদ্ধ থাকায় তরল জল অণু বায়ুমণ্ডলে ব্যাপিত হয়। বায়ুমণ্ডল জল দ্বারা সম্পৃক্ত হইলে জল অণুর উভয়দিকের চলাচল সমান হয় এবং অতঃপর ব্যাপন ক্রিয়া বন্ধ হয়। বহু-উপাদান তন্ত্রে (multi component system) কোন নির্দিষ্ট রাসায়নিক পদার্থের প্রতি মোল অণুতে মুক্ত শক্তির পরিমাণকে রাসায়নিক বিভব (chemical potential) বলা হয়। এই রাসায়নিক বিভব ব্যবধানের উপর ব্যাপন নির্ভরশীল। কোন পদার্থের রাসায়নিক বিভব যত বেশী হইবে ব্যাপন অথবা রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটাইবার ক্ষমতাও তাহাদের তত বেশী।

গ্যাস, তরল অথবা কঠিন পদার্থের অধিক ঘনত্বের স্থান হইতে কম ঘনত্বের স্থানে ব্যাপিত হইবার ক্ষমতাকে **ব্যাপন চাপ** (diffusion pressure) বলা

হয়। ব্যাপন চাপের মাত্রা ব্যাপনে অংশগ্রহণকারী কণাগুলির ঘনত্বের সহিত সমানুপাতিক হয় অর্থাৎ কণাগুলির ঘনত্বের তীব্রতার সঙ্গে সঙ্গে ব্যাপন চাপের হারও বৃদ্ধি পায়। উদাহরণস্বরূপ, একটি গ্যাস ভর্তি বেলুনে বায়ুমণ্ডল অপেক্ষা অধিক ব্যাপন চাপ থাকায়, উহা ফাটিয়া গেলে বদ্ধ গ্যাসটি বেশী ব্যাপন চাপ স্থান হইতে চতুষ্পার্শ্বের বায়ুতে ব্যাপিত হয়।

উদ্ভিদের জল ও তাহাদের চলাচল সংক্রান্ত বিষয়ে জলের রাসায়নিক বিভব ধর্মটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। জলের রাসায়নিক বিভবকে সাধারণ ভাবে **জল বিভব** (water potential) বলা হয়। কোন তন্ত্রে নির্দিষ্ট অবস্থায় জলের রাসায়নিক বিভব (μ w) ও বিশুদ্ধ জলের রাসায়নিক বিভবের (μ °w) ব্যবধানকে জল বিভব বলা হয়। জল বিভবকে গ্রীক্ সংকেত ψ ('সাই') দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। জল বিভবকে নিম্নোক্ত সংকেতের সাহায্যে চিহ্নিত করা যায়,

$$\psi = \mu w - \mu^{\circ} w = RT \ln (e/e^{\circ})$$ আর্গ/মোল

R = গ্যাস ধ্রবক

T = চরম উষ্ণতা (°k)

e = কোন বিশেষ তন্ত্রে T উষ্ণতায় জলের বাষ্পচাপ

e° = T উষ্ণতায় বিশুদ্ধ জলের বাষ্পচাপ

সাধারণতঃ জৈবিক তন্ত্রে e/e°-এর মান এককের কম হয় এবং সেক্ষেত্রে $\ln e/e^{\circ}$ সর্বদা ঋণাত্মক (−); সুতরাং জল বিভবকে ঋণাত্মক চিহ্নে (−)প্রকাশ করা হইয়া থাকে। জল বিভব যান্ত্রিক চাপ ও উষ্ণতা বৃদ্ধিতে বৃদ্ধি পায় এবং দ্রাবের উপস্থিতিতে হ্রাস পায়। কোন তন্ত্রে জল বিভব যত বেশী ঋণাত্মক (−) হইবে তত বেশী জল ব্যাপন ক্রিয়ায় চলাচল করিবে।

জল বিভবকে **ব্যাপন চাপ ঘাট্‌তি** (diffusion pressure deficit) বা DPD রূপেও আখ্যা দেওয়া হয়। বিশুদ্ধ জলের ব্যাপন চাপ ঘাট্‌তি 1236 bar*। বিশুদ্ধ জলে চিনি কিংবা লবণ মিশ্রিত করিলে তাহাদের ব্যাপন চাপ ঘাট্‌তি বিশুদ্ধ জল অপেক্ষা কম। বিশুদ্ধ জল ও উপরোক্ত দ্রবণকে সমচাপে রাখিলে দুইটি তন্ত্রের ব্যাপন চাপ ঘাট্‌তির ব্যবধান ঐ দ্রবণের

* এই এককে অ্যাটমোস্ফিয়ার (atmosphere) রূপেও চিহ্নিত করা হইয়া থাকে।

অভিস্রবণীয় চাপের (osmotic pressure ; পরে দ্রষ্টব্য) সমান। উদাহরণ-স্বরূপ, একটি দ্রবণের অভিস্রবণীয় চাপ 8 bar হইলে, ঐ দ্রবণের ব্যাপন চাপ ঘাট্‌তিও 8 bar হইবে। সুতরাং একই বায়বীয় চাপে বিশুদ্ধ দ্রাবক (solvent) ও দ্রবণের ব্যাপন চাপের ব্যবধানকে ব্যাপন চাপ ঘাট্‌তি বলা হয়।

সুতরাং ব্যাপন পদ্ধতিটি মুক্ত শক্তির† নতিমাত্রার (gradient) উপর নির্ভরশীল। মুক্ত শক্তির এই নতিমাত্রা বিভিন্ন পদ্ধতিতে নির্ণয় করা হয়। একটি বদ্ধ, দৃঢ় (rigid) জলপূর্ণ আধার একটি দৃঢ় জলভেদ্য পর্দাদ্বারা পৃথক করিলে প্রাথমিক অবস্থায় জলের কোন চলাচল পরিলক্ষিত হয় না। কিন্তু আধারের একপার্শ্বে উত্তাপ বৃদ্ধি করিলে তাপগতি বিদ্যার নিয়মানুসারে জল ব্যাপন প্রক্রিয়ায় ঠাণ্ডা দিকে ধাবিত হয়। জীবকোষে উষ্ণতা নতিমাত্রায় জল এককোষ হইতে অন্য কোষে চলাচল করে।

আধারের একপার্শ্বে চাপ প্রয়োগ করিলে জল বিভবের বৃদ্ধি ঘটে ফলে জল ব্যাপন প্রক্রিয়ায় লঘু চাপের দিকে ধাবিত হয়। উদ্ভিদ কোষে পর্দার চাপ নতিমাত্রার ফলে জলের চলাচল সংঘটিত হয়।

আধারের একপার্শ্বে চিনি, লবণ ইত্যাদি দ্রাব মিশ্রিত করিলে জল বিভবের ব্যবধান ঘটে ফলে জল ব্যাপন প্রক্রিয়ায় দ্রাবের দিকে ধাবিত হয়। দ্রাবক হইতে দ্রাবের দিকে জলের এই চলাচলের সঠিক কারণ এখনও অজ্ঞাত, তবে দ্রাব ও দ্রাবক অণুর সংখ্যা অর্থাৎ আণবিক পরিমাণের উপর এই পদ্ধতি অতীব নির্ভরশীল। দ্রাব ও দ্রাবকের এই সংখ্যার সম্পর্ক **মোল ভগ্নাংশ** (mole fraction) নামে পরিচিত।

আধারের একপার্শ্বে কাদামাটি ও অপর পার্শ্বে বিশুদ্ধ জল পূর্ণ করিলে জল কাদামাটির দিকে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় ধাবিত হয়। কাদামাটির চতুষ্পার্শ্বে জল পৃষ্ঠলগ্ন (adsorbed) অবস্থায় থাকে।

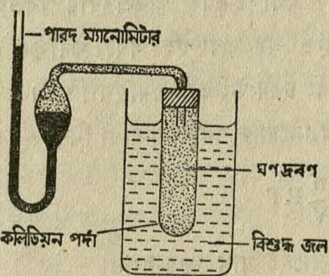
উপরোক্ত প্রভাবগুলি ছাড়াও ব্যাপন প্রক্রিয়া একাধিক প্রভাবের উপর নির্ভরশীল। প্রতি একক দূরত্বে জল বিভবের ব্যবধানের উপরও ব্যাপন প্রক্রিয়া নির্ভর করে। এই নতিমাত্রার যত মাত্রাধিক্য ঘটিবে তত তাড়াতাড়ি ব্যাপন প্রক্রিয়া সংঘটিত হইবে। সাম্যাবস্থায় এই নতিমাত্রার মান শূন্য (0)।

† মুক্তশক্তির বিশদ বিবরণের জন্য চতুর্থ অধ্যায়ে দ্রষ্টব্য।

দ্রাবকের সান্দ্রতা (viscosity) ব্যাপন প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রিত করে। একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় অণু বা আয়ণ ইত্যাদির আয়তনের উপরও ব্যাপন ক্রিয়া নির্ভরশীল। অণু বা আয়ণের আয়তন যত ছোট হইবে বেগও (velocity) তত বেশী হইবে অর্থাৎ ব্যাপন ক্রিয়া দ্রুততর সম্পন্ন হইবে।

খ. অভিস্রবণ (Osmosis) : অভিস্রবণ একটি বিশেষ ব্যাপন প্রক্রিয়া। উদাহরণস্বরূপ, সুক্রোজের একটি জলীয় দ্রবণ (aqueous solution) বিশুদ্ধ জলের মধ্যে একটি অর্দ্ধভেদ্য পর্দা* (semi permeable বা SPM) দ্বারা পৃথক করিলে কোন নির্দিষ্ট সময়ে বিশুদ্ধ জল হইতে দ্রবণের দিকে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় জলের চলাচলকে **অভিস্রবণ** (osmosis) বলা হয়। **রাসায়নিক বিভব নতিমাত্রায় বিভেদমূলক ভেদ্য পর্দার মাধ্যমে যে কোন পদার্থের চলাচলকেই অভিস্রবণ বলা হয়।**

অভিস্রবণ পদ্ধতিটি অস্মোমিটার (osmometer) দ্বারা অতি সহজেই প্রমাণিত হয়। কলোডিয়ন পর্দা (collodion membrane), মাছের ব্লাডার (fish bladder) অথবা ডিমের পর্দা (উপরের শক্ত খোলক অ্যাসিড দ্বারা গলিত



চিত্র-57 : অভিস্রবণ পদ্ধতির পরীক্ষা

করিয়া) দ্বারা একটি আধার প্রস্তুত করিয়া একটি কাঁচের নল এবং ম্যানোমিটার (manometer) দ্বারা যুক্ত করা হয়। পর্দার আধারটি লঘু সুক্রোজ দ্রবণ দ্বারা পূর্ণ করিয়া একটি বিশুদ্ধ জলের পাত্রে নিমজ্জিত করা হইল। পর্দাটি জলভেদ্য

* প্রকৃতপক্ষে অর্দ্ধভেদ্য পর্দার সংজ্ঞাটি ভ্রান্তিমূলক। যে সমস্ত পর্দা দ্রাব অপেক্ষা দ্রাবকে অধিক ভেদ্য তাহাকেই অর্দ্ধভেদ্য পর্দা বলিলেও ইহা বস্তুতঃপক্ষে বিভেদমূলক ভেদ্য পর্দা (differentially permeable membrane)। এই পর্দাগুলি জলে অধিক ভেদ্য কিন্তু দ্রাবে নয়।

হওয়ায় উভয়দিকেই জলের চলাচল ঘটিবে, তবে বিশুদ্ধ জলের ঘনত্ব আধারের জলের ঘনত্ব অপেক্ষা অধিক হওয়ায় জল আধারের মধ্যে অধিক দ্রুতগতিতে প্রবেশ করিবে এবং ম্যানোমিটারে জলের তল বৃদ্ধি পাইবে (চিত্র-57)। জল প্রবেশের সঙ্গে সঙ্গে সুক্রোজের ঘনত্ব ক্রমশঃ হ্রাস পাইবে, ফলে জল প্রবেশের গতিরও হ্রাস হয়। এইভাবে ক্রমশ সাম্যাবস্থায় উপনীত হইলে জলের চলাচল বন্ধ হইয়া যায়।

অস্‌মোমিটার দ্রবণে যান্ত্রিক চাপ প্রয়োগে জলের চলাচল হ্রাস পায়। যান্ত্রিক চাপের ফলে দ্রবণের জলের ক্ষমতা (শক্তি) বৃদ্ধি পায় ফলে জল বিভব নতিমাত্রার হ্রাস পায়।

অভিস্রবণীয় চাপ (Osmotic pressure)ঃ যে অতিরিক্ত চাপের ফলে অস্‌মোমিটারে সাম্যাবস্থা ঘটে সেই চাপকে **অভিস্রবণীয় চাপ** (osmotic pressure) বলা হয়। অর্থাৎ কোন দ্রবণে অতিরিক্ত ঔদস্থিতিক চাপ (hydrostatic pressure) প্রয়োগে জল বিভব বিশুদ্ধ জলের সমান হইলে ঐ চাপই অভিস্রবণীয় চাপ। অভিস্রবণীয় চাপকে **অভিস্রবণীয় বিভবও** (osmotic potential) বলা হয়। অভিস্রবণীয় বিভবকে গ্রীক্‌ সংকেত π ('পাই') দ্বারা চিহ্নিত হয় এবং ইহা সর্বদা ঋণাত্মক (−)। অভিস্রবণীয় বিভব দ্রাবের ঘনত্ব এবং চরম উষ্ণতার সমানুপাতিক।

অভিস্রবণীয় বিভব নিম্নোক্ত সমীকরণ দ্বারা নির্ণীত হয়।

$$\pi = -\frac{n}{V}RT$$

n = দ্রাবের গ্রাম অণুর সংখ্যা

V = দ্রবণের পরিমাণ

R = গ্যাস ধ্রবক

T = চরম উষ্ণতা

উপরোক্ত ভ্যাণ্ট হফ্‌ (Van't Hoff) সমীকরণ দ্বারা সাধারণ উষ্ণতা ও চাপে (NTP) দ্রবণের অভিস্রবণীয় বিভব—22·4 bar অথবা তাহার গুণিতক।

সমমোলার ঘনত্ব ইলেক্‌ট্রোলাইটের (electrolytes) জলীয় দ্রবণের অভিস্রবণীয় বিভব অ-ইলেক্‌ট্রোলাইট (non-electrolyte) দ্রবণের

অভিস্রবণীয় বিভব অপেক্ষা কম। কারণ, ইলেক্ট্রোলাইট যুক্ত জলীয় দ্রবণে ইহারা আয়নে পৃথক হয় এবং দ্রবণে আয়ণ বা অণু যাহাই থাকুক না কেন তাহাদের ঘনত্বের সহিত অভিস্রবণীয় বিভব সমানুপাতিক।

দ্রাব বা তাহাদের ঘনত্বের উপর নির্ভর না করিয়া যে কোণ দুইটি জলীয় দ্রবণের একই অভিস্রবণীয় বিভব হইলে তাহাকে **সমমাত্রিক** (isotonic) **দ্রবণ** বলা হয়। কোন দ্রবণ অপর দ্রবণ অপেক্ষা স্বল্প অভিস্রবণীয় চাপ সম্পন্ন হইলে তাহাকে **অবমাত্রিক** (hypotonic) এবং অধিক অভিস্রবণীয় চাপ সম্পন্ন হইলে তাহাকে **অতিমাত্রিক** (hypertonic) **দ্রবণ** বলা হয়।

স্ফীতি চাপ (Turgour pressure) : কোষ সাইটোপ্লাস্‌ম ও কোষস্থ-অঙ্গসমূহ প্লাস্‌মালেমা নামক বিভেদমূলক ভেদ্য (differentially permeable) পর্দাদ্বারা আবৃত থাকে। কোষ-পর্দা ব্যতীত উদ্ভিদ দৃঢ় কোষ-প্রাচীর দ্বারা পরিবেষ্টিত। উদ্ভিদকোষের এই বিশেষ গঠনের জন্য কোষগুলি বিভিন্ন অভিস্রবণীয় ঘনত্বে (osmotic concentration) থাকিতে পারে। অপরপক্ষে, প্রাণীকোষে কোষ-প্রাচীর না থাকায় তাহারা নিজস্ব ঘনত্ব সম্পন্ন পরিবেশ ব্যতীত বাঁচিতে পারে না। উদ্ভিদকোষকে বিশুদ্ধ জলে নিমজ্জিত করিলে সামান্য স্ফীত হয়। কোষ মধ্যে অভিস্রবণীয় চাপ অধিক থাকায় জল কোষ মধ্যে ধাবিত হয়—ফলে কোষ-পর্দা প্রসারিত হইয়া কোষ-প্রাচীরের গাত্রে চাপ সৃষ্টি করে। এই চাপকে **স্ফীতি চাপ** (turgour pressure) বলা হয়। অপরপক্ষে, দৃঢ় কোষ-প্রাচীর একটি বিপরীত চাপের সৃষ্টি করে। এই বিপরীত চাপকে **প্রাচীর চাপ** (wall pressure) বলা হয়। এইরূপ পরস্পর বিরোধী শক্তির ক্রিয়ার ফলে উদ্ভিদ কোষ সাধারণত স্ফীতি (turgid) অবস্থায় থাকে।

কোষের অভিস্রবণীয় পরিমাণ (Osmotic quantities of cells) : প্রারম্ভিক প্লাসমোলাইসিস্ (incipient plasmolysis) যুক্ত [এ ক্ষেত্রে স্ফীতি চাপ শূন্য (0)] এবং কোষ রসের 20 bar অভিস্রবণীয় চাপ সম্পন্ন তিনটি উদ্ভিদ কোষকে প্রথমটি জলে, দ্বিতীয়টি 15 bar এবং তৃতীয়টি 20 bar অভিস্রবণীয় চাপ সম্পন্ন দ্রবণে নিমজ্জিত করা হইল (চিত্র-58)। উপরোক্ত বিষয়টির বিশদ্ আলোচনার পূর্বে কতকগুলি পূর্বসর্ত মনে রাখা প্রয়োজন। সর্তগুলি হইল,

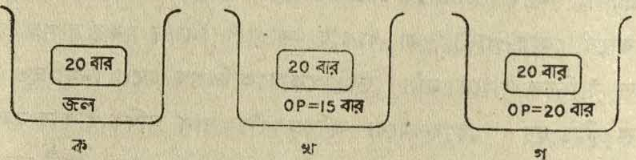
(ক) সমস্ত কোষের প্রাচীর সমভাবে সম্প্রসারণশীল (elastic),

(খ) কোষ পর্দা জল ভেদ্য কিন্তু প্রাচীরটি জল ও দ্রবণে ভেদ্য,

(গ) কোষগুলি একই উষ্ণতায় বর্তমান, এবং

(ঘ) জল গ্রহণের ফলে কোষ আয়তনের যে সামান্য পরিবর্তন হয় তাহার ফলে অভিস্রবণীয় চাপের যে পরিবর্তন হয় তাহা উপেক্ষণীয় (negligible)।

'ক' চিত্রে বাহিরের জলের ব্যাপন চাপ ঘাটতি শূন্য (0) এবং কোষ রসের জলের ব্যাপন চাপ ঘাটতি 20 bar থাকায় কোষটি জলে নিমজ্জিত করিবার কিছুক্ষণ পর কোষে জল প্রবেশ করিবে। জল প্রবেশের ফলে কোষে স্ফীতি চাপ বৃদ্ধি পাইবে এবং কোষটি ক্রমশঃ সম্প্রসারিত হইবে। স্ফীতি চাপের পরিমাণ বৃদ্ধি পাইয়া যখন 20 bar-এর মত হইবে তখন কোষের ব্যাপন চাপ ঘাটতি 20 bar হইতে কমিয়া প্রায় শূন্য (0) পরিণত হইবে এবং কোষটি এই অবস্থায় সাম্যাবস্থায় উপনীত হইবে এবং ফলে আর কোন জল প্রবেশ করিবে



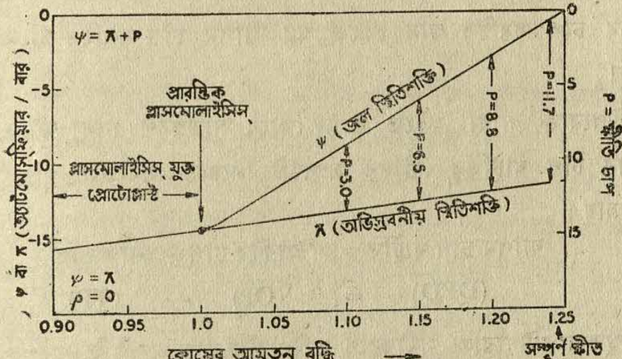
চিত্র-58 : একই উদ্ভিদকোষকে বিভিন্ন অভিস্রবণীয় চাপ সম্পন্ন দ্রবণে নিমজ্জিত করা হইয়াছে।

না। চিত্র-58 'খ' অংশে কোষের ব্যাপন চাপ ঘাটতি 20 bar এবং বাহিরের দ্রবণের চাপ 15 bar হওয়ায়, কোষটি দ্রবণে নিমজ্জিত করিবামাত্র তাহার সর্বাধিক স্ফীতি চাপ (20 – 15) 5 bar পরিলক্ষিত হয়। সুতরাং এ ক্ষেত্রে 'ক' অপেক্ষা স্বল্প জল কোষে প্রবেশ করিবে এবং কোষটিও 'ক' অপেক্ষা স্বল্প প্রসারিত হইবে। চিত্রের 'গ' অংশে কোষ ও বাহিরের চাপ সমান থাকায় কোষটি দ্রবণে নিমজ্জিত করিবামাত্র সাম্যাবস্থায় উপনীত হইবে, ফলে জল প্রবেশ করিবে না এবং কোন স্ফীতি চাপ পরিলক্ষিত হইবে না।

উপরোক্ত আলোচনা হইতে ইহা নিশ্চিত যে চিত্রের 'ক' ও 'খ' অংশে কোষের ব্যাপন চাপ ঘাটতি ও পরিবেষ্টক তরলের ব্যাপন চাপ ঘাটতি সমান হওয়া মাত্র সাম্যাবস্থায় উপনীত হয়। অপরপক্ষে, কোষের স্ফীতি চাপের

পরিমাণ পরিবর্তনের সঙ্গে ব্যাপন চাপ ঘাটতি বিশেষ ভাবে সম্পর্ক যুক্ত। ব্যাপন চাপ ঘাটতির সঙ্গে কোষের অভিস্রবণীয় চাপেরও বিশেষ সম্পর্ক রহিয়াছে।

কোষের ব্যাপন চাপ ঘাটতি, স্ফীতি চাপ ও অভিস্রবণীয় চাপের সম্পর্কটি চিত্র-59 প্রকাশ করা হইয়াছে। একটি উদ্ভিদকোষ শ্লথ (flaccid) অবস্থা হইতে স্ফীত (turgid) অবস্থায় উপনীত হইবার সময় ইহাদের আয়তনের বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। আয়তন বৃদ্ধির ফলে কোষ-রসের তারল্য (dilution)



চিত্র-59 : প্রারম্ভিক প্লাসমোলাইসিস্ ও স্ফীত উদ্ভিদকোষে অভিস্রবণীয় পরিমাণের (osmotic quantities) পরিবর্তন। চিত্রে তিনটি পরিমাণের বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। জল স্থিতিশক্তির বৃদ্ধি, অভিস্রবণীয় স্থিতিশক্তি ও স্ফীতি চাপ বৃদ্ধির পরিমাণের সমান অর্থাৎ $\psi = \pi + P$

ঘটে ফলে কোষ-রসের অভিস্রবণীয় চাপের হ্রাস পায়। কোষের শ্লথ অবস্থায় অর্থাৎ প্লাসমোলাইসিস্ অবস্থায় স্ফীতি চাপ শূন্য (TP = 0) এবং অভিস্রবণীয় বিভব ও জলবিভবের পরিমাণ সমান (অর্থাৎ-16 bar)। উপরোক্ত কোষকে বিশুদ্ধ জলে নিমজ্জিত করিলে, জল প্রবেশের ফলে কোষের অভিস্রবণীয় চাপ কমে (অর্থাৎ অভিস্রবণীয় বিভব বৃদ্ধি পায়) এবং স্ফীতি চাপের পরিমাণ শূন্য

(0) হইতে বৃদ্ধি পাইয়া 3 bar হওয়ায় জলবিভব – 10 bar (– 13 – 3 = – 10) হয়। সম্পূর্ণ স্ফীত অবস্থায় জল বিভবের পরিমাণ শূন্য (0) এবং অভিস্রবণীয় বিভব ও স্ফীতি চাপের পরিমাণ সমান।

অধিকাংশ উদ্ভিদকোষ সম্প্রসারণশীল (elastic) হইলেও একাধিক জাঙ্গল (xerophytes) এবং জলজ (hydrophytes) কোষের প্রাচীর অসম্প্রসারণশীল (inelastic)। অসম্প্রসারণশীল কোষ-প্রাচীরের ক্ষেত্রে অভিস্রবণীয় পরিমাণের উপরোক্ত সম্পর্ক সম্পূর্ণরূপে প্রযোজ্য না হইলেও এক্ষেত্রেও জল স্বল্প ব্যাপন চাপ ঘাটতি স্থান হইতে অধিক ব্যাপন চাপ ঘাটতি স্থানে অথবা অধিক ব্যাপন চাপ সমন্বিত স্থান হইতে স্বল্প ব্যাপন চাপ সমন্বিত স্থানে চলাচল করে।

উপরোক্ত ব্যাখ্যা হইতে উদ্ভিদ কোষে অভিস্রবণীয় চাপ, স্ফীতি চাপ ও ব্যাপন চাপ ঘাটতির মৌলিক সম্পর্কটি নিম্নোক্ত সমীকরণ দ্বারা চিহ্নিত করা যায়।

ব্যাপন চাপ ঘাটতি = অভিস্রবণীয় চাপ — স্ফীতি চাপ
(DPD) = (OP) — (TP)

সুতরাং, উপরোক্ত সমীকরণে অভিস্রবণীয় চাপ ও স্ফীতি চাপের পরিমাণ সমান হইলে ব্যাপন চাপ ঘাটতি শূন্য (0) হইবে। উদ্ভিদকোষে অথবা জাইলেম বাহিকায় স্ফীতি চাপের মান সর্বদাই ধনাত্মক (–)। অর্থাৎ ঐ কোষ বা বাহিকায়

ব্যাপন চাপ ঘাটতি = অভিস্রবণীয় চাপ—(– স্ফীতি চাপ)
(DPD) (OP) (TP)
বা, ব্যাপন চাপ ঘাটতি = অভিস্রবণীয় চাপ + স্ফীতি চাপ

ফলে ঐ কোষ বা বাহিকার জল সর্বদা একটি টানে (tension) থাকে। জলের টানের জন্য অবশ্য অন্য কারণও থাকিতে পারে।

প্লাসমোলাইসিস্ (Plasmolysis) ঃ একটি অভিস্রবণীয় চাপ সম্পন্ন উদ্ভিদকোষকে সম অভিস্রবণীয় চাপ সম্পন্ন দ্রবণে [অর্থাৎ সমমাত্রিক দ্রবণে (isotonic solution)] নিমজ্জিত করিলে কোষের কোন পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয় না। কিন্তু কোষটিকে অতিমাত্রিক দ্রবণে (hypertonic solution) নিমজ্জিত করিলে, দ্রবণের ঘনত্ব কোষ-রসের ঘণত্ব অপেক্ষা অধিক হওয়ায়

কোষমধ্যস্থ জল বাহিরের দ্রবণে নিঃসৃত হয়। ফলে কোষ-স্ফীতি হ্রাস পায়, কোষ-গহ্বর সংকুচিত হয় এবং কোষ-প্রাচীর গাত্র হইতে কোষ পর্দা বিচ্ছিন্ন হয়। কোষের এই অবস্থাকে **প্লাসমোলাইসিস্** (plasmolysis) বলা হয়।

জীব-কোষকে অবমাত্রিক দ্রবণে (hypotonic solution) নিমজ্জিত করিলে উপরোক্ত অবস্থার ব্যতিক্রম পরিলক্ষিত হয়। এ ক্ষেত্রে, জল বাহির হইতে কোষাভ্যন্তরে প্রবেশ করে, ফলে কোষ আরও স্ফীত হয় এবং স্ফীতি চাপের বৃদ্ধি ঘটে। চাপের পার্থক্য থাকিলেও সমমাত্রিক ও অবমাত্রিক দ্রবণে চাপ ব্যতীত অন্য কোন পার্থক্য পরিলক্ষিত হয় না।

প্লাসমোলাইসিস্ সমন্বিত কোষকে অবমাত্রিক দ্রবণে নিমজ্জিত করিলে কোষে জল প্রবেশ করে। ফলে কোষ পুনরায় জল গ্রহণ করিয়া স্ফীত হয়। কোষের এই স্ফীতিকে **ডি-প্লাসমোলাইসিস্** (deplasmolysis) বলা হয়। এই কোষকে কোষ-পর্দায় ভেদ্য দ্রাবের (permeable solute) অতিমাত্রিক দ্রবণে নিমজ্জিত করিলে প্লাসমোলাইসিস্ ও ডি-প্লাসমোইলাসিস্ উভয় অবস্থাই পরিলক্ষিত হয়। প্রথম অবস্থায় পর্দার মাধ্যমে অধিক জলের ব্যাপন ক্রিয়ার ফলে প্লাসমোলাইসিস্ পরিলক্ষিত হয়। কিছুক্ষণ পরে কোষমধ্যে দ্রাবের অধিক ব্যাপন ক্রিয়ায় কোষরসের অভিস্রবণীয় ঘনত্ব বহিস্থঃ দ্রবণের অভিস্রবণীয় ঘনত্বের সমান হয়, ফলে কোষ পুনরায় স্বাভাবিক অবস্থায় উপনীত হয়।

অভিস্রবণীয় চাপ বা বিভব পরিমাপন (Measurement of OP): কোন দ্রবণের অভিস্রবণীয় চাপ বা অভিস্রবণীয় বিভব সরাসরি অস্‌মোমিটারের (osmometer) সাহায্যে পরিমাপন করা হয়। দ্রবণ অণুর দলবদ্ধ (colligative) ধর্মের আধুনিক বিজ্ঞান সম্মত ব্যাখ্যার পরিপ্রেক্ষিতে অভিস্রবণীয় বিভবের সহজ ও নির্ভুল পরিমাপন সম্ভব হইয়াছে। মুক্ত দ্রবণের অভিস্রবণীয় বিভব নির্ণয় সহজ হইলেও উদ্ভিদকোষের অভিস্রবণীয় বিভব নির্ধারণ সহজ-সাধ্য নহে।

(ক) **ভ্যাণ্ট হফ্‌ সূত্র** (Van't Hoffs' Law): লঘু দ্রবণের অভিস্রবণীয় বিভব অস্‌মোমিটারের সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব। ভ্যাণ্ট হফ্‌-এর সমীকরণটি নিম্নরূপ:

$$\psi\pi = -\text{mi RT}$$

m = দ্রবণের মোলালিটি

i = দ্রাবের আয়নীভবন ধ্রুবক

R = গ্যাস ধ্রুবক (0.082)

T = চরম উষ্ণতা (273 + কক্ষ উষ্ণতা)

সুতরাং দ্রবণের m এবং i-এর মান জানা থাকিলে উপরোক্ত সমীকরণ দ্বারা লঘু দ্রবণের অভিস্রবণীয় বিভব নির্ণয় সম্ভব। সুক্রোজ বা ম্যানিটল (mannitol) প্রভৃতি অ-আয়নীভূত অণুর i-এর মান সর্বদা এক (1) কিন্তু অন্যান্য ক্ষেত্রে i-এর মান ঘনত্বের সহিত সমানুপাতিক। কারণ লবণ বা অ্যাসিডের আয়নীভবন ঘনত্বের উপর নির্ভরশীল। এক মোলাল অ-আয়নীভূত দ্রাবের দ্রবণের অভিস্রবণীয় বিভব সাধারণ অবস্থায় -22·7 bar (atm)।

(খ) **বাষ্প চাপ পদ্ধতি** (Vapour pressure method) : সাম্যাবস্থায় জল বিভব নির্ণয় পদ্ধতি সমভাবে অভিস্রবণীয় বিভব নির্ণয় করিতে ব্যবহৃত হয়। শূন্য (0) চাপ বিভবে (zero preseure potential) জল বিভব ও অভিস্রবণীয় বিভবের সমান ($\psi p = O$; $\psi = \psi\pi$)। কোষকে হিমায়িত (frozen) করিয়া বাষ্পচাপ পদ্ধতি দ্বারা জল বিভব পরিমাপন সম্ভব। বাষ্প চাপ পদ্ধতির সমীকরণটি নিম্নরূপ

$$\pi = -\text{RT}\ \ln\frac{\text{Po}}{\text{P}}\ \text{bar}$$

ln = প্রাকৃতিক লগ্যারিথিম

Po = বিশুদ্ধ জলের বাষ্প চাপ

p = উপরোক্ত উষ্ণতায় দ্রবণের বাষ্প চাপ

(গ) **ক্রায়োসকপিক পদ্ধতি** (Cryoscopic method) : কোন দ্রবণের হিমাঙ্ক, বাষ্প চাপ বা স্ফুটনাঙ্ক, সেই দ্রবণের আবদ্ধ ধর্ম। ইহাদের যে কোন একটির দ্বারা অভিস্রবণীয় বিভব নির্ণয় সম্ভব। অধিক উষ্ণতায় দ্রাবের ধর্মের পরিবর্তন বা ক্ষমতা নষ্ট হয় বলিয়া স্ফুটনাঙ্ক দ্বারা অভিস্রবণীয় বিভব নির্ণয় সমীচীন নয়। হিমাঙ্ক নির্ণয় করা সর্বাপেক্ষা সুবিধাজনক।

পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে যে, অ-আয়নীভূত এক মোলাল দ্রবণের

অভিস্রবণীয় বিভব – 22.7 bar। ঐ দ্রবণের হিমাঙ্ক (△)-1.86° সেন্টিগ্রেড। সুতরাং কোন লঘু দ্রবণের হিমাঙ্ক ও অভিস্রবণীয় বিভবের সম্পর্ক

$$\frac{\psi\pi}{22.7} = \frac{\Delta}{-1.86} \text{ bar}$$

বা $\psi\pi = 12{\cdot}06\ \Delta$ bar (△ = দ্রবণের হিমাঙ্ক)

নিখুঁত পারদ থার্মোমিটার* দ্বারা দ্রবণের হিমাঙ্ক নির্ণয় করা হয়। দ্রবণের হিমাঙ্ক নির্ণয় করিয়া উপরোক্ত সমীকরণ দ্বারা দ্রবণের অভিস্রবণীয় বিভব পরিমাপন সম্ভব।

তালিকা 13 : 20° সেন্টিগ্রেডে মোলার ঘনত্বে অভিস্রবণীয় বিভব**

ঘনত্ব (Concentration)	মোলার সুক্রোজ	মোলার†† KCl	মোলার†† NaCl
0·1	—2·64	—4·6	—4·3
0·2	—5·29	—8·8	—8·8
0·3	—8·13	—12·6	—12·5
0·4	—11·1	—16·7	—16·6
0·5	—14·3	—20·6	—21·0
0·6	—17·8	—24·1	—25·7
0·7	—21·5	—28·3	—29·7
0.8	—25·5	—32·3	—34·2
0·9	—29·7	—35·9	—38·6
1·0	—34·6	—39·2	—43·2
2·0	—56·9	—80·6	—88·8

উদ্ভিদ কোষকে নিষ্পেষিত করিয়া তাহাদের রস নির্যাষিত করা হয়। এই নির্যাষিত রসকে পাতন করিয়া উপরোক্ত পদ্ধতিতে তাহার হিমাঙ্ক নির্ণয় করা হয়। এই পদ্ধতির অনেক বাধা থাকিলেও অভিস্রবণীয় বিভব নির্ণয়ের এইটি একটি বহুল প্রচলিত পদ্ধতি।

* এই থার্মোমিটার সূক্ষ্ম কৈশিক (capillary) নলের তৈরী এবং ০.০1 সেন্টিগ্রেড তাপ নির্ণয় করা হয়।

** 1 গ্রাম আণবিক ওজন, 1 লিটার জলে দ্রবীভূত করিলে এক মোলার দ্রবণ প্রস্তুত হয়।

†† স্বল্প ঘনত্বে অ-ইলেক্ট্রোলাইটের অভিস্রবণীয় বিভব ইলেক্ট্রোলাইটের দ্বিগুণ হয়, কিন্তু অধিক ঘনত্বে এর ব্যতিক্রম পরিলক্ষিত হয়।

(ঘ) **প্লাসমোলাইটিক পদ্ধতি** (Plasmolytic method) : প্লাসমোলাইটিক পদ্ধতিটি উদ্ভিদকোষের অভিস্রবণীয় বিভব নির্ণয়ের কম শ্রমসাধ্য পদ্ধতি। দ্রবণের ক্রমবর্ধমান মান অনুযায়ী (অর্থাৎ অভিস্রবণীয় চাপের একটি ক্রমবিন্যাস) কতিপয় দ্রবণ প্রস্তুত করিয়া উদ্ভিদের কোষস্তর (বহিঃস্তরের ব্যবহার সুবিধাজনক) বিভিন্ন দ্রবণে নিমজ্জিত করিয়া রাখা হয়। কিছুক্ষণ এইভাবে রাখার পর (30 মিনিট) অণুবীক্ষণ যন্ত্রে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে, কোন দ্রবণের কোষগুলি স্ফীত, কোন দ্রবণের সমস্ত কোষ সম্পূর্ণ প্লাসমোলাইসিসযুক্ত আবার কোন দ্রবণে শতকরা 50 ভাগ কোষে প্রারম্ভিক প্লাসমোলাইসিস্ (incipient plasmolysis) পরিলক্ষিত হয়। এই প্রারম্ভিক প্লাসমোলাইসিস্ পর্যায়ে কোষের স্ফীতি চাপ শূন্য (0) এবং বাহ্যিক ও অন্তস্থ অভিস্রবণীয় বিভবের পরিমাপ সমান। সুতরাং বাহ্যিক মোলার দ্রবণের* ঘনত্ব হইতে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা কোষের অভিস্রবণীয় বিভব নির্ণয় করা হয়।

$$\pi = -\text{CRT bar}$$

C = মোলার ঘনত্ব

R = গ্যাস ধ্রুবক (0·082)

T = চরম উষ্ণতা (273 + কক্ষ উষ্ণতা)

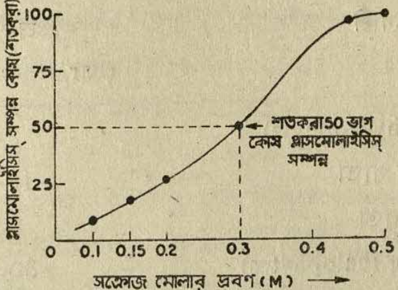
দ্রবণটি একটি দ্রাব সম্পন্ন (monomolecular solute) এবং লঘু ঘনত্বের হইলে অভিস্রবণীয় বিভব নির্ধারণের ইহা একটি প্রকৃষ্ট পদ্ধতি। ইলেক্ট্রোলাইটের ক্ষেত্রে (যেমন লবণ, অ্যাসিড বা ক্ষার) অণুগুলি পৃথক (dissociate) হইয়া পরায় ইহাদের অভিস্রবণীয় বিভবের পরিমাণ অধিক (তালিকা-13) সোডিয়াম ক্লোরাইডের ক্ষেত্রে উপরোক্ত ফলকে 1·8 দ্বারা এবং ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের ক্ষেত্রে 2·4 দ্বারা গুণ করিয়া অভিস্রবণীয় বিভব নির্ণয় করা হইয়া থাকে। উপরোক্ত গুণনীয়ককে (factor) **সমমাত্রিক গুণক** (isotonic coefficient) বলা হয়। সুতরাং ইলেক্ট্রোলাইটের ক্ষেত্রে অভিস্রবণীয় বিভব নির্ণয়ের সমীকরণটি

---

* ম্যানিটল (mannitol) ব্যবহার করাই শ্রেয়। এই দ্রাব কোষে সহজে প্রবেশ করিতে পারে এবং বিপাকে পরিবর্তিত হয় না।

$\pi = -iCRT$

i = সমমাত্রিক গুণক



চিত্র-60 : সুক্রোজ মোলার দ্রবণের সহিত প্লাসমোলাইসিস্-সম্পন্ন কোষের (শতকরা) আন্তঃসম্পর্ক।

উদ্ভিদকোষে অভিস্রবণীয় চাপের পরিমাণ (Magnitude of **OP** in plant cell) : বিভিন্ন পরিবেশের উদ্ভিদের ক্ষেত্রে ভিন্ন ভিন্ন অভিস্রবণীয় চাপ পরিলক্ষিত হয় (তালিকা-14)। পরাশ্রয়ী ও জলজ উদ্ভিদের অভিস্রবণীয় চাপ অন্যান্য উদ্ভিদ অপেক্ষা অনেক কম। সর্বাপেক্ষা অধিক অভিস্রবণীয় চাপ লবণাম্বু উদ্ভিদের (halophytes) ক্ষেত্রে পরিলক্ষিত হয়।

একই উদ্ভিদের বিভিন্ন অঙ্গে অভিস্রবণীয় চাপের পার্থক্য লক্ষ্য করা যায়। আবার একই অঙ্গে বিভিন্ন কোষেও এর পার্থক্য হয়। যেমন অধিকাংশ পাতার মেসোফিল কলায় বহিঃস্তর অপেক্ষা সর্বদা অধিক অভিস্রবণীয় চাপ দেখা যায়।

অপরপক্ষে, কোন বিশেষ উদ্ভিদের অভিস্রবণীয় চাপ কখনও স্থির থাকে না, বিভিন্ন ঋতুতে বা দিনের বিভিন্ন সময়েও তাহার ব্যতিক্রম পরিলক্ষিত হয়। ডিটমার (Dittmer) এবং অল্টম্যান (Altman) সংকলিত পুস্তকে (1964) বিভিন্ন ঋতুতে পাইন জাতীয় উদ্ভিদের অভিস্রবণীয় চাপ লিপিবদ্ধ করা হইয়াছে। উপরোক্ত তথ্য হইতে ইহা নিশ্চিত প্রমাণিত হয় যে, পাইন জাতীয় উদ্ভিদের ক্ষেত্রে মার্চ মাসে সর্বাপেক্ষা অধিক (**24·9 bar**) এবং অক্টোবর মাসে সর্বাপেক্ষা স্বল্প (**17·1 bar**) অভিস্রবণীয় চাপ পরিলক্ষিত হয়।

তালিকা 14 : বিভিন্ন পরিবেশের উদ্ভিদ-গোষ্ঠীর সম্ভাব্য অভিস্রবণীয় চাপ (OP)

উদ্ভিদ গোষ্ঠী	অভিস্রবণীয় চাপ (bar/atmosphere)
জলজ উদ্ভিদ (hydrophyts)	8-13
ভাসমান পাতা	18-21
জলমগ্ন পাতা	8-9
লবণাম্বুজ উদ্ভিদ (halophytes)	30-115
জাঙ্গল উদ্ভিদ (xerophytes)	14-56
পরাশ্রয়ী উদ্ভিদ (epiphytes)	3-6
পরজীবী উদ্ভিদ (parasites)	14-17
আলুর স্ফীতকন্দ (stem tubers)	6-12
রিওডিসকলার পাতা (*Rhoeo discolor* leaf)	3.5-8

হেরিকের (Herrick) মতে অভিস্রবণীয় চাপের আহ্নিক ব্যতিক্রম পর্যালোচনা করিলে দেখা যায় যে, সকাল এবং সন্ধ্যায় অভিস্রবণীয় চাপ সর্বাপেক্ষা কম থাকে, সর্বাপেক্ষা অধিক অভিস্রবণীয় চাপ দ্বিপ্রহরে পরিলক্ষিত হয়।

অ-অভিস্রবণীয় জল-শোষণ (Non-osmotic water uptake) **:** উদ্ভিদকোষে অভিস্রবণ ব্যতীত বিপাকীয় শক্তির সাহায্যেও জল-শোষণ সংঘটিত হয়। বেনেট-ক্লার্ক (Bennet-Clark) ইত্যাদি বৈজ্ঞানিকদের মতে প্লাসমোলাইসিস্ পদ্ধতি দ্বারা নির্ণীত অভিস্রবণীয় চাপ ক্রায়োসকপিক পদ্ধতি দ্বারা নির্ণীত চাপ অপেক্ষা স্বল্প (অর্থাৎ অধিক ঋণাত্মক)। যেহেতু প্লাসমোলাইসিস্ পদ্ধতিতে উদ্ভিদকোষ অংশ গ্রহণ করে এবং ক্রায়োসকপিক পদ্ধতিতে শুধু মাত্র কোষ-রস ব্যবহৃত হয় সুতরাং অভিস্রবণীয় বিভবে বিপাকীয় শক্তির কার্যকারিতা সম্বন্ধে ধারণা করা হয়। অপরপক্ষে, শ্বসনের সহিত জল-শোষণ বিশেষ সম্পর্কিত এবং শ্বসনে প্রতিরোধক (প্রতিবন্ধক) যৌগগুলিও জল-শোষণ ব্যাহত করে।

এই ধরণের **অ-অভিস্রবনীয়** বা **সক্রিয়** বা **বিপাকীয় জল-শোষণ** উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদে বিশেষ পরিলক্ষিত হয় না।

ইণ্ডোল অ্যাসেটিক অ্যাসিড (**IAA**) এবং ন্যাপথেলিন অ্যাসেটিক অ্যাসিড (**NAA**) প্রভৃতি বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রক যৌগের উপস্থিতিতে উদ্ভিদকোষে সক্রিয় জল শোষণ ঘটিয়া থাকে। থিম্যান ও স্যামুয়েল-এর (Thimann & Samuel) পরীক্ষায় জানা যায় যে, কয়েকটি বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রক যৌগ কোষ-প্রাচীরের প্রসারণ ক্ষমতা বৃদ্ধি করে, ফলে স্ফীতি চাপ হ্রাস পায় এবং জল বিভবের হ্রাস হয়। ইউট্রিকুইলেরিয়া (*Utricularia*) প্রভৃতি উদ্ভিদের জল-নিঃসরণ গ্রন্থি বা হাইডাথোড (hydathodes), লজ্জাবতী উদ্ভিদের (*Mimosa pudica*) অঙ্গসঞ্চালক-কোষের (motor cells) স্ফীতির দ্রুত পরিবর্তন প্রভৃতি সম্পর্কগুলি সক্রিয় জল-শোষণের সহিত সম্পর্কিত।

একাদশ অধ্যায়

প্রস্বেদন ও তাপমুক্তি

(Transpiration and heat release)

উদ্ভিদ তাহাদের অস্তিত্ব বজায় রাখিতে ও বৃদ্ধির জন্য মৃত্তিকা হইতে জল শোষণ করে। শোষিত জলের কিয়দাংশ উদ্ভিদ বিভিন্ন বিপাকীয় কার্যে ব্যবহৃত করিয়া অবশিষ্টাংশ বায়ুমণ্ডলে পরিত্যাগ করে। সুতরাং উদ্ভিদ জীবনে জলের প্রয়োজন হইলেও উদ্ভিদের পাতার মাধ্যমে অধিক পরিমাণ জল বাহিরে পরিত্যক্ত হয়।

প্রাথমিক ভাবে, উদ্ভিদকোষ হইতে বাষ্পাকারে এই জল ত্যাগ পদ্ধতিকে **প্রস্বেদন** (transpiration) বলা হয়। বায়ুমণ্ডলে উদ্ভিদের অনাবৃত যে কোন অংশ হইতেই বাষ্পাকারে জল ত্যাগ ঘটিয়া থাকে। সাধারণ ভাবে পাতাই উদ্ভিদের প্রধান প্রস্বেদন অঙ্গ। অধিকাংশ জল পাতার পত্ররন্ধ্র (stomata) দ্বারা পরিত্যক্ত হয়। পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে জল ত্যাগ পদ্ধতিকে **পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন** (stomatal transpiration) বলা হয়। উপরোক্ত পদ্ধতি ব্যতীত পাতার বহিঃত্বক কোষের (epidermal cells) কিউটিকিলের গাত্র হইতে সরাসরি জল বাষ্পাকারে পরিত্যাগ হওয়ার পদ্ধতিকে **কৃত্তিক প্রস্বেদন** (cuticular transpiration) বলে। গুল্ম জাতীয় উদ্ভিদের কাণ্ডে অবস্থিত লেন্টিসেল (lenticel) নামক কাণ্ড-রন্ধ্রের মাধ্যমে বাষ্পাকারে জল ত্যাগ পদ্ধতিকে **লেন্টিসেল প্রস্বেদন** (lenticular transpiration) বলা হয়।

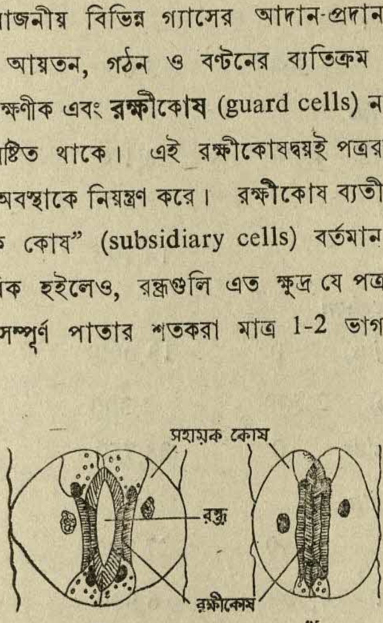
পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদনের তুলনায় কৃত্তিক ও লেন্টিসেল প্রস্বেদন দ্বারা সামান্য পরিমাণ জল উদ্ভিদকোষে বাষ্পাকারে পরিত্যক্ত হয়।

উদ্ভিদ বিভিন্ন বিপাকীয় কার্যে স্বল্প পরিমাণ জল ব্যবহার করিলেও, অধিক পরিমাণ জল বাষ্পাকারে উদ্ভিদ-দেহ হইতে নির্গত হয়। বিভিন্ন উদ্ভিদে প্রস্বেদন হার বিভিন্ন হইলেও তাহাদের সম্পূর্ণ জীবন-চক্রে জল পরিত্যাগের পরিমাণ অতীব। উদাহরণস্বরূপ, ভুট্টা গাছের একটি সম্পূর্ণ জীবন-চক্রে প্রায় 54 গ্যালন জল বাষ্পকারে নির্গত হয়। কজ্‌লোস্কি

(Kozlowski) 1964 খৃষ্টাব্দে পরীক্ষা করিয়া দেখেন যে, দক্ষিণ আমেরিকায় একটি বনে প্রতিদিন প্রতি একরে প্রায় 8000 গ্যালন জল প্রস্বেদন প্রক্রিয়ায় পরিত্যক্ত হয়।

উদ্ভিদকে পর্যাপ্ত পরিমাণ জল ও পুষ্টির সরবরাহ করিলে উদ্ভিদ কর্তৃক জলের ব্যবহার শুষ্ক পদার্থের প্রস্তুত সৌর শক্তির ব্যবহারের উপর নির্ভর করে। জল ও শুষ্ক পদার্থের সম্পর্ককে **প্রস্বেদন অনুপাত** (transpiration ratio) বলা হয়। প্রতি গ্রাম শুষ্ক পদার্থের প্রস্তুতিতে জলের ক্ষয়কে প্রস্বেদন অনুপাত রূপে গণ্য করা হয়।

পত্ররন্ধ্রের শারীরবৃত্তীয় কার্য (Physiology of Stomatal action) : নালিকা-বিশিষ্ট উদ্ভিদের পত্রপৃষ্ঠে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র রন্ধ্র বর্তমান। এই রন্ধ্রগুলিকে **পত্ররন্ধ্র** (stomata) বলা হয়। পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমেই উদ্ভিদের কার্যের জন্য প্রয়োজনীয় বিভিন্ন গ্যাসের আদান-প্রদান ঘটে। পত্রপৃষ্ঠে পত্ররন্ধ্রের সংখ্যা, আয়তন, গঠন ও বণ্টনের ব্যতিক্রম পরিলক্ষিত হয়। পত্ররন্ধ্রগুলি আণুবীক্ষণীক এবং **রক্ষীকোষ** (guard cells) নামক দুইটি বিশেষ কোষ দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে। এই রক্ষীকোষদ্বয়ই পত্ররন্ধ্রের মুক্ত (open) এবং বন্ধ (close) অবস্থাকে নিয়ন্ত্রণ করে। রক্ষীকোষ ব্যতীত প্রতিটি পত্ররন্ধ্রে অতিরিক্ত "সহায়ক কোষ" (subsidiary cells) বর্তমান। পত্রপৃষ্ঠে পত্র-রন্ধ্রের সংখ্যা অধিক হইলেও, রন্ধ্রগুলি এত ক্ষুদ্র যে পত্ররন্ধ্রের সম্পূর্ণ মুক্ত অবস্থায় তাহারা সম্পূর্ণ পাতার শতকরা মাত্র 1-2 ভাগ অধিকার করিয়া থাকে।



চিত্র-61 : উদ্ভিদকোষের উন্মুক্ত (ক) ও বন্ধ (খ) পত্ররন্ধ্রের অবস্থা।

কতিপয় জলজ উদ্ভিদ ব্যতীত সমস্ত ব্যক্তবীজী ও গুপ্তবীজী উদ্ভিদের পাতায় পত্ররন্ধ্র বর্তমান। ফার্ন (Ferns), লিভারওয়ার্ট (Liverworts),

তালিকা 15 : কতিপয় উদ্ভিদের পত্র-পৃষ্ঠে পত্ররন্ধ্রের আয়তন ও বণ্টন

উদ্ভিদ (প্রজাতি)	প্রতি সেমি. বর্গে গড় পত্ররন্ধ্র সংখ্যা উর্ধ্ব ত্বক	নিম্ন ত্বক	রন্ধ্রের গড় আয়তন (μ) (দৈর্ঘ্য × প্রস্থ)
ভুট্টা (*Zea mays*)	5,200	6,800	19 × 5
টমেটো (*Lycoprsicon esculentum*)	1,200	13,000	13 × 6
গম (*Triticum sativum*)	3,300	1,400	18 × 7
সূর্যমুখী (*Helianthus annus*)	8,500	15,600	22 × 8
ফ্রেঞ্চ বীন (*Phaseolus vulgaris*)	4,000	28,100	7 × 3
কোলিয়াস (*Coleus blumei*)	0	14,100	10 × 5
ট্রপিওলাম (*Tropaeolum majus*)	0	13,000	12 × 6
জই (*Avena sativa*)	2,500	2,300	38 × 8
আপেল (*Pyrus malus*)	0	38,750	32 × 6
চালকুমড়া (*Cucurbita pepo*)	2,790	27,200	21 × 7
ধান (*Oryza sativa*)	4,900	6,900	16 × 6

ইকুইজিটাম (*Equisetum*) এবং মস (Mosses) জাতীয় উদ্ভিদে কার্যকর পত্ররন্ধ্র (functional stomata) বর্তমান থাকিলেও শৈবালে এবং ছত্রাক জাতীয় উদ্ভিদে ইহারা সম্পূর্ণ অনুপস্থিত।

পত্ররন্ধ্রের ছিদ্রের আয়তন রক্ষীকোষের আকার ও আয়তনের পরিবর্তনের উপর নির্ভরশীল। রক্ষীকোষের এই পরিবর্তন কোষের জল পরিমাণের উপর নির্ভর করে। দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদের রক্ষীকোষের কোষ-প্রাচীর অসমানভাবে পুরু থাকে। রক্ষীকোষের অঙ্কীয় প্রাচীর (অর্থাৎ রন্ধ্র নিকটবর্তী) পৃষ্ঠ-প্রাচীর অপেক্ষা অধিক পুরু। সুতরাং রক্ষীকোষের রসস্ফীতির ফলে পৃষ্ঠপ্রাচীরটি বেশী উত্তল (convex) হয়। ফলে ছিদ্রটি উন্মুক্ত হয়। অপরপক্ষে, রক্ষীকোষের রসস্ফীতি হ্রাস পাইলে পত্ররন্ধ্রের ছিদ্র বন্ধ হইয়া যায় (চিত্র-61 ক ও খ)। 1951 খৃষ্টাব্দে স্কার্থ ও শ (Scarth and Shaw) দেখেন যে, অধিকাংশ রক্ষীকোষের আয়তন রসস্ফীতির ফলে শতকরা 25 ভাগ বৃদ্ধি পায়। ঘাস জাতীয় উদ্ভিদে পত্ররন্ধ্রের জটিলতা পরিলক্ষিত হয়। এক্ষেত্রে পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত করিতে রক্ষীকোষ অপেক্ষা সহায়ক কোষ প্রধান ভূমিকা গ্রহণ করে।

রক্ষীকোষের রসস্ফীতির পরিবর্তন একাধিক বহিঃস্থ প্রভাবকের উপর নির্ভরশীল। এই প্রভাবকগুলির মধ্যে আলোক, কার্বন ডাই অক্সাইডের ঘনত্ব এবং জল বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। বিভিন্ন উদ্ভিদে পত্ররন্ধ্রের আহ্নিক পরিবর্তন বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়। পাত্‌লা পত্রবিশিষ্ট মেসোফাইট (mesophytes) উদ্ভিদের ক্ষেত্রে পর্যাপ্ত জলের উপস্থিতিতে পত্ররন্ধ্রগুলি আলোকের প্রতিক্রিয়ার দিবাভাগে উন্মুক্ত থাকে এবং রাত্রে বন্ধ থাকে। জলের স্বল্প আনুকূল্যে পাতার রসস্ফীতি হ্রাস পাওয়ায় মধ্য-দিবাভাগে পত্ররন্ধ্র-গুলি আংশিক বা পূর্ণ বন্ধ হয়। পত্ররন্ধ্রের এই মধ্যদিনের বন্ধ অবস্থা, রাত্রে অল্পকাল স্থায়ী পত্ররন্ধ্রের উন্মোচনের সহিত সম্পর্কযুক্ত। যব (বার্লি), গম, জই (ওট) প্রভৃতি উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্রগুলি দিবাভাগে অধিকাংশ সময় বন্ধ এবং রাত্রেও উন্মুক্ত হয় না। অপরপক্ষে, আলু, পেঁয়াজ প্রভৃতি উদ্ভিদে অনুকূল জল পরিবেশে সূর্যাস্তের পর কয়েক ঘণ্টা ব্যতীত পত্ররন্ধ্রগুলি সর্বদা উন্মুক্ত থাকে। রসাল (succulents) এবং একাধিক জাঙ্গল (xerophytes) উদ্ভিদে পত্ররন্ধ্রগুলি রাত্রে উন্মুক্ত থাকে এবং দিবাভাগে বন্ধ থাকে।

উদ্ভিদের মধ্য-দিবাভাগে বন্ধ পত্ররন্ধ্রের ঘটনাটি অতীব জটিল। একাধিক শারীরবিদের মতে মধ্য-দিবাভাগে অধিক উষ্ণতায় অধিক প্রস্বেদন ঘটিলেও জল শোষণ ব্যাহত হয়। সুতরাং কোষে জল ঘাটতির ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়। হিথ্ (Heath) এবং সহকর্মীদের মতে মধ্য-দিবাভাগে পত্ররন্ধ্রের বন্ধ পত্রকোষে

অধিক পরিমাণে কার্বন ডাই অক্সাইড সঞ্চয়ের ফলে ঘটিয়া থাকে। দিবাভাগে অধিক উষ্ণতায় শ্বসন বৃদ্ধি পায়, অপরপক্ষে সালোকসংশ্লেষ ব্যাহত হওয়ায়* কোষে কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিমাণ বৃদ্ধি পায় (CO_2 পরিমাণ বৃদ্ধিতে পত্ররন্ধ্রের বন্ধ অবস্থা সম্বন্ধে বিশদ পরে আলোচিত হইয়াছে)। হল্ ও ক্যাফ্ম্যান (Hall and Kaufmann) 1975 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, অধিক উষ্ণতা পত্রের চতুষ্পার্শ্বে বায়ুমণ্ডলের আর্দ্রতা হ্রাস করে, এবং রক্ষীকোষের কোষ-প্রাচীরের স্থিতিস্থাপকতার (elasticity) উপর প্রত্যক্ষ ভাবে কার্য করে।

প্রস্বেদন প্রতিরোধী (Antitranspirants) : পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে যে, উদ্ভিদ মূলদ্বারা শোষিত অধিকাংশ জল প্রস্বেদন প্রক্রিয়ায় বাষ্পাকারে নির্গত করে। কখনও কখনও কৃত্রিম উপায়ে প্রস্বেদন হ্রাস করাইয়া ফসলী উদ্ভিদের বিপাকে সহায়তা করা সম্ভব।

বর্তমানকালে একাধিক রাসায়নিক দ্রব্য প্রয়োগের ফলে উদ্ভিদের সাধারণ বৃদ্ধি ও অন্যান্য বিপাকে ব্যাহত না করিয়া প্রস্বেদন হার হ্রাস করা যায়। প্রস্বেদন হ্রাস করার যে কোন রাসায়নিক পদার্থকে **প্রস্বেদন প্রতিরোধী** (antitranspirants) বলা হয়। কার্বন ডাই অক্সাইড ও অক্সিজেনে ভেদ্য ও জল অভেদ্য একাধিক বর্ণহীন প্লাষ্টিক, সিলিকন তৈল (silicone oil) এবং স্বল্প সান্দ্রতা (low viscosity) বিশিষ্ট মোম পাতায় প্রলেপ লাগাইয়া প্রস্বেদন প্রতিরোধী হিসাবে ব্যবহার করা হইয়া থাকে। বর্তমান কালে সর্বাপেক্ষা অধিক প্রচলিত প্রস্বেদন প্রতিরোধী রূপে ফিনাইল মারফিউরিক অ্যাসিটেটের (phenylmercuric acetate) ব্যবহার বহুল প্রচলিত। লঘু ঘনত্বে (10^{-4}M) এই পদার্থটি প্রয়োগ করিলে পত্ররন্ধ্র আংশিক বন্ধ হয়, ফলে প্রস্বেদন-হার হ্রাস পায়। কোন কোন ক্ষেত্রে অ্যাব্সাইসিক অ্যাসিড (abscisic acid) নামক হরমোন প্রয়োগেও প্রস্বেদন হার হ্রাস পায়।

পত্রের চতুপার্শ্বে কার্বন ডাই অক্সাইডের ঘনত্ব শতকরা 0.03 হইতে শতকরা 0.05 বৃদ্ধির ফলে পত্ররন্ধ্রের আংশিক বন্ধ পরিলক্ষিত হয় এবং ফলে প্রস্বেদন হ্রাস পায়। সুতরাং এক্ষেত্রে কার্বন ডাই অক্সাইডও প্রস্বেদন প্রতিরোধী।

* অধিক উষ্ণতায় শ্বসন ও সালোকসংশ্লেষের বিপরীতমুখী প্রক্রিয়া, উহাদের উৎসেচক সহনশীলতার উপর নির্ভরশীল

পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন ও বন্ধের পদ্ধতি (Mechanism of opening and closing of stomata) **:** পর্যাপ্ত জলের উপস্থিতিতে ও পরিমিত কোষ উষ্ণতায় পত্ররন্ধ্র আলোকের উপস্থিতিতে উন্মোচিত হয় এবং অন্ধকারে বন্ধ থাকে। সুতরাং সাধারণ অবস্থায় পত্ররন্ধ্র দিবাভাগে মুক্ত ও অন্ধকারে বন্ধ পরিলক্ষিত হয়। একাধিক বৈজ্ঞানিকদের মতে পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন অভিস্রবণে সক্রিয় (osmotically active) পদার্থের সঞ্চয়ের ফলে সংঘটিত হয়। দিবাভাগে রক্ষী কোষে শর্করা জাতীয় পদার্থের অধিক সঞ্চয়ের ফলে অভিস্রবণীয় চাপ বৃদ্ধি পায়, ফলে পার্শ্ববর্তী সহায়ক কোষ হইতে জল প্রবেশের ফলে রক্ষীকোষের রসস্ফীতি ঘটে। আলোক ও অন্ধকারে রক্ষীকোষে শ্বেতসার ও শর্করার পরিবর্তন নিম্নোক্ত বিক্রিয়ায় সংঘটিত হয়।

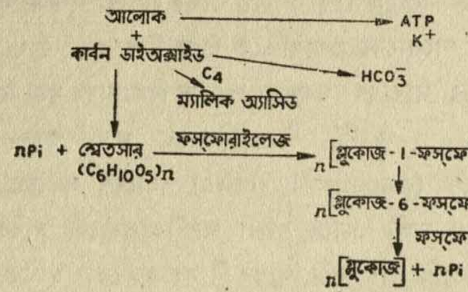
$$\text{শ্বেতসার} + n\,(\text{অজৈব ফসফেট}) \underset{\text{অন্ধকার (pH 5)}}{\overset{\text{আলোক (pH 7)}}{\rightleftharpoons}} n\,(\text{গ্লুকোজ 1-ফসফেট})$$

ফসফোরাইলেজ উৎসেচক

স্কার্থের (Scarth) উপরোক্ত ব্যাখ্যাটি লেভিট (Levitt) 1967 খৃষ্টাব্দে বিশদভাবে আলোচনা করেন। লেভিটের মতে, দিনের বেলায় সালোক-সংশ্লেষের ফলে রক্ষীকোষে স্বল্প CO_2 সঞ্চিত থাকায় pH বৃদ্ধি পায় (pH 7) ফলে সহজেই শ্বেতসার গ্লুকোজে পরিণত হয়। কিন্তু অন্ধকারে কোষে অধিক CO_2 সঞ্চিত হওয়ায় pH হ্রাস পায় (pH 5) ফলে গ্লুকোজ শ্বেতসারে পরিণত হয়। সুতরাং দিবাভাগে অধিক গ্লুকোজ পরিণত হওয়ায় অভিস্রবণীয় চাপের বৃদ্ধি ঘটে ফলে কোষের রসস্ফীতি ঘটে এবং পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত হয়। রাত্রি বেলায় বিপরীত প্রক্রিয়ায় কোষে শ্বেতসার আধিক্য পরিলক্ষিত হয়, ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়। পত্ররন্ধ্র উন্মোচন ও বন্ধের পুরাতন ব্যাখ্যাগুলির পক্ষে ও বিপক্ষে নানাবিধ মতামত প্রকাশ করা হইয়াছে।

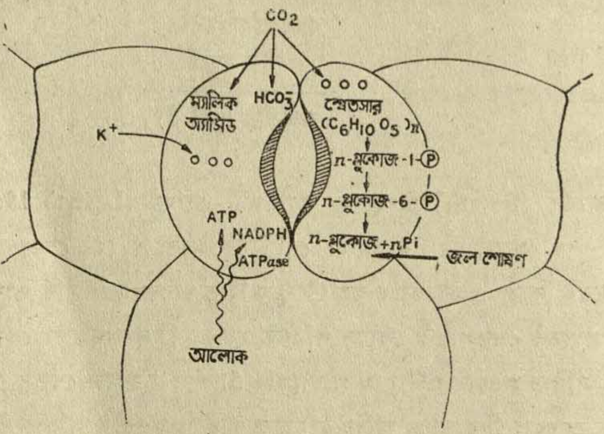
বর্তমানে একাধিক বৈজ্ঞানিক প্রমাণ করিয়াছেন যে, আলোকের উপস্থিতিতে রক্ষীকোষে পটাশিয়াম আয়নের (K^+) শোষণ ঘটে। নোবেলের (Nobel,

1977) মতে পটাশিয়ামের সক্রিয় শোষণ আলোকসংশ্লেষে উৎপাদিত ATP-র



চিত্র-62 ঃ আলোকের উপস্থিতিতে শ্বেতসারের গ্লুকোজে পরিবর্তন।

সহায়তায় ঘটিয়া থাকে। কোষে ম্যালিক অ্যাসিড প্রভৃতি জৈব অ্যাসিডের সঞ্চয়ের ফলে পটাশিয়াম আয়নের তাড়িৎ ভারসাম্য বজায় থাকে। সুতরাং



চিত্র-63 ঃ পত্ররন্ধ্রের রক্ষীকোষে আলোক ও কার্বন ডাই অক্সাইডের উপস্থিতিতে শ্বেতসারের গ্লুকোজে পরিবর্তন ; অভিস্রবনীয় চাপ বৃদ্ধি এবং অধিক জল শোষণ। ফলে পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন।

আলোকের উপস্থিতিতে রক্ষীকোষে অধিক ম্যালিক অ্যাসিড সঞ্চয়ের ফলে পটাশিয়াম শোষণ ত্বরান্বিত হয়। লেভিট (Levitt) 1974 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেণ যে, আলোকের উপস্থিতিতি ক্লোরোপ্লাস্ট হইতে ম্যালিক অ্যাসিড রক্ষী-

কোষের সাইটোপ্লাস্‌মে নিঃসৃত হয়। সুতরাং রক্ষী কোষে K^+ ক্যাটায়ন ও ম্যালিক অ্যাসিড অ্যানায়নের আধিক্যের ফলে অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় রক্ষী-কোষের পার্শ্ববর্তী কোষ হইতে জল প্রবেশ করে। এই জল প্রবেশের ফলে রক্ষীকোষ স্ফীত হয় এবং পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত হয়।

আলোকের উপস্থিতিতে পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন নিম্নের ছকের সাহায্যে বুঝানো হইল।

আলোক → ম্যালিক অ্যাসিড প্রস্তুত → ম্যালেট ও হাইড্রোজেন আয়নে পৃথকীভবন → কোষ পর্দায় হাইড্রোজেন-পটাশিয়াম আয়ণের বিনিময়ে পটাশিয়ামের ঘনত্ব বৃদ্ধি → পটাশিয়াম ম্যালেটের স্থানান্তরণ ↓

পার্শ্ববর্তী কোষ হইতে অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় জল প্রবেশ ⟵ স্ফীতি চাপ বৃদ্ধি ⟵ পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন

অন্ধকার পরিবেশে রক্ষীকোষ হইতে পটাশিয়াম-হাইড্রোজেন বিনিময়ের ফলে পটাশিয়াম নিঃসৃত হয় এবং কোষস্থ ম্যালিক অ্যাসিড বিপাকে ব্যবহৃত হয়। ইহার ফলে রক্ষীকোষের জল অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় বাহির হইয়া স্ফীতি চাপ হ্রাস করে এবং ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়।

কার্বনডাই অক্সাইড ঘনত্বের প্রভাব (Effect of CO_2 Concentration) : পাতার বাহিরের বায়ুমণ্ডলে CO_2-এর ঘনত্বও পত্ররন্ধ্র সঞ্চালনে প্রভাব বিস্তার করে। কার্বন ডাই অক্সাইড মুক্ত বায়ুতে উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র অন্ধকারেও উন্মোচিত হইয়া থাকে। অপরপক্ষে, বায়ুমণ্ডলে কার্বন ডাই অক্সাইডের সাধারণ ঘনত্ব (0·03%) অপেক্ষা অধিক ঘনত্বে আলোকের উপস্থিতিতেও পত্ররন্ধ্র বন্ধ থাকে। কার্বন ডাই অক্সাইডের প্রভাবে পত্ররন্ধ্রের এই উন্মোচন ও সঙ্কোচন বর্তমানে ত্বক্ সংলগ্ন কোষ ও রক্ষীকোষের মধ্যে পটাশিয়াম আয়নের

পরিবহণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা হইয়া থাকে। পত্রের বাহিরে CO_2-এর পরিমাণ হ্রাস পাইলে পটাশিয়াম আয়ণ রক্ষীকোষে প্রবেশ করে ফলে আলোক প্রভাবের ন্যায় পত্ররন্ধ্রও উন্মুক্ত হয় এবং অধিক CO_2 ঘনত্বে রক্ষীকোষ হইতে পটাশিয়াম আয়ণের নির্গমন ঘটে ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়।

আলোকের উপস্থিতিতে CO_2 সালোকসংশ্লেষে বিজারিত হইয়া রক্ষীকোষে CO_2-এর ঘনত্ব হ্রাস করে এবং ফলে পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত হয়। অপরপক্ষে, রাত্রে শ্বসনের ফলে CO_2-এর ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়; ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়।

উদ্ভিদের কর্বুর (variegated) পত্রের ক্লোরোফিল অংশের পত্ররন্ধ্র আলোক ও অন্ধকারে সবুজ অংশের পত্ররন্ধ্রের ন্যায় আচরণ করিলেও, ইহাদের আচরণ খুবই মন্থর।

(খ) **জল পীড়নের প্রভাব** (Effect of water stress) : জল-শোষণ অপেক্ষা প্রস্বেদন-হার বৃদ্ধি পাইলে, উদ্ভিদকোষে জল ঘাটতি পরিলক্ষিত হয় এবং ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হইয়া যায়। 1954 খৃষ্টাব্দে ইয়েম্ এবং উইলিস্ (Yemm and Willis) প্রমাণ করেন যে, উদ্ভিদের এই জল ঘাটতি অবস্থায় কোষে শর্করা শ্বেতসারে পরিণত হয় এবং ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়।

উদ্ভিদ-পত্র দ্রুত নেতাইয়া পড়িলে (wilt) পত্ররন্ধ্রগুলি সম্পূর্ণ বন্ধ হইবার পূর্বে রন্ধ্রগুলির উন্মোচন পরিলক্ষিত হয়। এর কারণ উপরোক্ত পরিবেশে রক্ষীকোষ অপেক্ষা ত্বক সংলগ্ন কোষে দ্রুত রসস্ফীতি হ্রাস পায় ফলে রক্ষীকোষ অস্থায়ী ভাবে স্ফীত হয় এবং পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত হয়। অপরপক্ষে, দ্রুত জল ঘাটতির ফলে রক্ষীকোষ অপেক্ষা ত্বক সংলগ্ন কোষে রসস্ফীতি বৃদ্ধি পায়; সুতরাং এ ক্ষেত্রে পত্ররন্ধ্রগুলি উন্মোচিত হইবার পূর্বে অস্থায়ীভাবে বন্ধ হয়। উদ্ভিদ-পত্র স্থায়ীভাবে নেতাইয়া পড়িলে পত্ররন্ধ্রের স্থায়ী উন্মোচন পরিলক্ষিত হয়।

(গ) **উষ্ণতার প্রভাব** (Response to temperature) : 10-25° সেন্টিগ্রেড (C) উষ্ণতা সাধারণভাবে পত্ররন্ধ্রের বন্ধ ও উন্মোচন বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে। নিম্ন উষ্ণতায় পত্ররন্ধ্রগুলি ধীর গতিতে কার্যকর, অপরপক্ষে অধিক উষ্ণতায় পত্ররন্ধ্রের কার্য অতীব ত্বরান্বিত হয়। 25°C উষ্ণতার উর্দ্ধে সালোকসংশ্লেষ অপেক্ষা শ্বসনের হার বৃদ্ধিতে CO_2-এর ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়,

ফলে পত্ররন্ধ্রের বন্ধ অবস্থা পরিলক্ষিত হয়, (হিথ্ Heath 1952)। হিথের মতে পেঁয়াজে মধ্য-দিবাভাগে পত্ররন্ধ্রের বন্ধ অবস্থা সম্ভবতঃ উপরোক্ত কারণে ঘটিয়া থাকে।

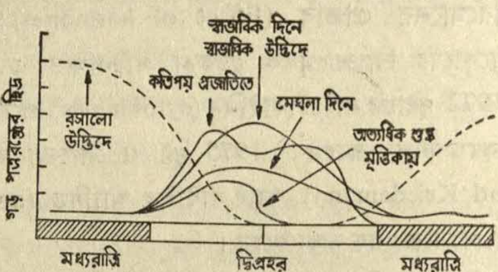
(ঘ) **হারমোনের প্রভাব** (Effect of hormones)ঃ হরমোনের প্রভাবে রক্ষীকোষের বিভেদ মূলক ভেদ্যতা পরিলক্ষিত হয়। কুইপার (Kuiper) 1972 খৃষ্টাব্দে সাইটোকাইনিন (cytokinines) প্রয়োগে পত্ররন্ধ্রের উন্মোচনের কথা উল্লেখ করেন। 1975 খৃষ্টাব্দে লোভেস ও ক্রিড্ম্যান (Loveys and Kriedemann) অ্যাব্সাইসিক অ্যাসিড (abscisic acid) প্রয়োগ করিয়া পত্ররন্ধ্রের বন্ধ লক্ষ্য করেন।

অ্যাব্সাইসিক অ্যাসিড ও সাইটোকাইনিন পর্দার ভেদ্যতার মাধ্যমে পটাশিয়াম আয়ণের প্রবাহকে নিয়ন্ত্রিত করে। ম্যান্সফিল্ড ও জোন্স (Mansfield and Jones) 1972 খৃষ্টাব্দে কমেলিনা (*Commelina communis*) নামক উদ্ভিদের রক্ষীকোষে অ্যাব্সাইসিক অ্যাসিড প্রয়োগ করিরা পটাশিয়াম আয়ণের ঘনত্ব হ্রাস লক্ষ্য করেন।

(ঙ) **স্বতঃস্ফুর্ত আহ্নিক ছন্দ** (Autonomous duirnal rhythms)ঃ অপরিবর্তনীয় পরিবেশে একাধিক উদ্ভিদে 24 ঘন্টায় পত্ররন্ধ্রগুলির সঞ্চালনের আহ্নিক ছন্দ পরিলক্ষিত হয়। উদ্ভিদের নিয়মিত আলোক ও অন্ধকার পরিবেশে পর্যায়ানুবৃত্তিতে পত্ররন্ধ্রের আহ্নিক ছন্দ ঘটিয়া থাকে। পত্ররন্ধ্রের এই আহ্নিক ছন্দ শ্বেতসার⇌শর্করা ভারসাম্যের (balance) পরিবর্তনের সহিত সম্পর্কযুক্ত। অধিককাল এই অপরিবর্তনীয় পরিবেশ স্থায়ী থাকিলে পত্ররন্ধ্রের এই ছন্দ নষ্ট হয়।

(চ) **সক্রিয় জল চলাচল** (Active water movement)ঃ শ্বেতসার-শর্করার ভারসাম্যের পরিবর্তনের ফলে রক্ষীকোষে জল শোষণ ও নির্গমনের পদ্ধতি দ্বারা রক্ষীকোষের জল বিভবের পরিবর্তন ঘটিলেও, সক্রিয় জল চলাচল পদ্ধতিটিও উপেক্ষিত নয়। রক্ষীকোষের রসস্ফীতির হ্রাসের ফলে পত্ররন্ধ্রের বন্ধ অবস্থার কথা উইলিয়ামস্ (Williams) 1954 খৃষ্টাব্দে লিপিবদ্ধ করেন। তাঁহার মতে রসস্ফীতির হ্রাস বিপাকীয় শক্তির ফলে সংঘটিত হয়। হিথ্ ও ওরচার্ড (Heath and Orchard) 1956 খৃষ্টাব্দে ভিন্ন মত ব্যক্ত করিলেও পত্ররন্ধ্র উন্মোচনে সক্রিয় জল শোষণ তথ্যটি বিশেষ ভাবে উল্লেখযোগ্য।

পত্ররন্ধ্রের বন্ধ অবস্থা শ্বেতসার⇌শর্করার ভারসাম্য (balance) বা অন্য কোন কারণে ঘটিয়া থাকে।



চিত্র-64 : বিভিন্ন পরিবেশে উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্রের প্রতিক্রিয়া।

প্রস্বেদন হারের উপর প্রভাব (Factors affecting transpiration rate) : উদ্ভিদের প্রস্বেদন হারের বিশেষ আহ্নিক পর্যায়বৃত্তি পরিলক্ষিত হয় এবং এই পর্যায়বৃত্তি আবহ-পরিস্থিতির (meteorological condition) উপর নির্ভরশীল। সাধারণভাবে রাত্রে প্রস্বেদন খুব স্বল্প হয় এবং সূর্যোদয়ের পর ক্রমশঃ বৃদ্ধি পায় (চিত্র-64) এবং সূর্যাস্তের পর পুনরায় হ্রাস পায়। বিভিন্ন আবহ-পরিস্থিতির মধ্যে সূর্য রশ্মি বিকিরণ (solar radiation) ও প্রস্বেদন বিশেষ সম্পর্কযুক্ত। সূর্য বাষ্পীভবন (evaporation) প্রক্রিয়ায় শক্তি যোগায়। যেহেতু প্রস্বেদনও একটি বিশেষ বাষ্পীভবন প্রক্রিয়া, সেইহেতু প্রস্বেদনের হারও সূর্য শক্তির উপর নির্ভরশীল। অপরপক্ষে, সূর্যালোক পত্ররন্ধ্রের বন্ধ ও উন্মোচনের সহিত প্রত্যক্ষভাবে যুক্ত।

উদ্ভিদের পারিপার্শ্বিক বায়ু সিক্ত অপেক্ষা শুষ্ক থাকিলে অধিক প্রস্বেদন ঘটিয়া থাকে। বায়ুর জল পরিমাণকে **আপেক্ষিক আর্দ্রতা** (relative humidity) বলা হয়। কোন নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থেকে এবং ঐ আয়তন বায়ুকে সম্পৃক্ত করিতে যে পরিমাণ বাষ্পের প্রয়োজন সেই অনুপাতকে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলা হয়। এই অনুপাত সাধারণতঃ শতকরা হিসাবে প্রকাশিত হয়। বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতার বৃদ্ধি প্রস্বেদনের হার হ্রাস করে।

পারিপার্শ্বিক বায়ুতে জলপরিমাণ অপরিবর্তনীয় থাকিলে **উষ্ণতা** বৃদ্ধিতে

চার্লস সূত্র (Charls' law) অনুযায়ী বায়ুর বাষ্পচাপ (vapour pressure) অপেক্ষাকৃত স্বল্প বৃদ্ধি পায় এবং প্রস্বেদনেও স্বল্প প্রভাব ঘটে। বায়ুর উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে জল-সম্পৃক্ত বায়ুতেও প্রস্বেদন বৃদ্ধি পায়।

পত্রপৃষ্ঠে **বায়ু চলাচল** ঘটিলে বাষ্পের অপসারণ ঘটে এবং প্রস্বেদন হারও বৃদ্ধি পায়। বায়ুর গতি অধিক হইলে যান্ত্রিক উত্তেজনার (mechanical disturbances) ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয় এবং ফলে প্রস্বেদন হার হ্রাস পায়।

প্রকৃতপক্ষে প্রস্বেদন, বায়ু এবং বাষ্পীভবন পৃষ্ঠের (evaporating surface) জলবিভবের নতিমাত্রার (gradient) সহিত সম্পর্কযুক্ত। উষ্ণতা ও জলবিভবের নতিমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে প্রস্বেদন হারের ও বৃদ্ধি ঘটে।

উদ্ভিদের **প্রাপ্তিসাধ্য জলের** (available water) হ্রাস হইলে জলবিভব নতিমাত্রার হ্রাস হয়, ফলে প্রস্বেদন হার ব্যাহত হয়। মৃত্তিকা দ্রবণের ঘনত্ব (soil solution conc.) বৃদ্ধি পাইলেও প্রস্বেদন হার হ্রাস পায়। জলশোষণের হ্রাস হইলে জাইলেমে জলটান (water tension) বৃদ্ধি পায় এবং প্রস্বেদন স্বল্প হয়। অধিক জলপীড়নে (water stress) উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র বন্ধ হইয়া যায় ফলে প্রস্বেদন ব্যাহত হয়।

প্রস্বেদনের উপর উদ্ভিদ গঠনের প্রভাব (Effects of plant structures on transpiration): বিশেষ আবহ পরিবেশে উদ্ভিদের প্রস্বেদন হারে তারতম্য পরিলক্ষিত হয় এবং উদ্ভিদের গঠন পদ্ধতিকে সম্পূর্ণ নিয়ন্ত্রণ করে। এই গঠনগুলির মধ্যে পত্রপৃষ্ঠের আয়তন, বাহ্যিক গঠন এবং পত্রের আভ্যন্তরীণ গঠন বিশেষ উল্লেখযোগ্য।

সাধারণভাবে পত্রপৃষ্ঠের আয়তন বৃদ্ধিতে প্রতি একক পত্র আয়তনে প্রস্বেদন হারের হ্রাস ঘটিলেও সর্বোতভাবে প্রস্বেদন হারের বৃদ্ধি ঘটে। এর কারণ পত্রপৃষ্ঠের আয়তন বৃদ্ধিতে অধিক জল ঘাটতি ঘটে, ফলে প্রস্বেদন হারের হ্রাস হয়। পত্র-অংশ ছাঁটিয়া দিলেও (pruned) অবশিষ্ট পত্র অংশের প্রস্বেদন হার বৃদ্ধি পায়। জাঙ্গল উদ্ভিদের ক্ষেত্রে শুষ্ক আবহাওয়ার পত্রের গঠন ও বিন্যাস প্রস্বেদন হারের পক্ষে বিশেষ কার্যকারী।

একক আয়তনের ভিত্তিতে বিভিন্ন উদ্ভিদ প্রজাতির প্রস্বেদন হার বিভিন্ন। প্রস্বেদনের এই তারতম্য উদ্ভিদ পত্রের **গঠন বৈশিষ্ট্যের** উপর নির্ভরশীল। পত্রের এই গঠন বৈশিষ্ট্যগুলি হইল কুত্তিকের গঠন, পত্ররন্ধ্রের সংখ্যা, বণ্টন,

আয়তন ও গঠন, নালিকা বাণ্ডিলের বিন্যাস প্রভৃতি। একই প্রজাতির উদ্ভিদ বিভিন্ন পরিবেশে বৃদ্ধি পাইলে (যেমন আলোক ও অন্ধকারে) তাহাদের পত্রের গঠনের তারতম্য হয় বলিয়া প্রস্বেদন হারের পার্থক্য পরিলক্ষিত হয়।

উদ্ভিদের কুত্তিক ধর্মের উপর প্রস্বেদন হার অনেকাংশে নির্ভরশীল (বিশেষতঃ রাত্রে পত্ররন্ধ্র বন্ধ থাকাকালীন)। ফার্ণ (ferns) প্রভৃতি ছায়াময় স্থানের উদ্ভিদে (shade plant) মোট প্রস্বেদনের শতকরা 30 ভাগ জল প্রবহণ (efflux) পাত্‌লা কুত্তিক দ্বারা সাধিত হয়। অপরপক্ষে, রসাল জাঙ্গল (succulent xerophytes) উদ্ভিদে কুত্তিক প্রস্বেদন অতীব নগণ্য।

পত্রপৃষ্ঠে **রোম** ও **শল্ক** (hairs and scales) পত্রপৃষ্ঠের আর্দ্র পরিবেশ রক্ষা করায় প্রস্বেদনের হার হ্রাস পায়। উদ্ভিদ-পৃষ্ঠের রোম ও শল্ক অধিক আলোক প্রতিফলিত করায় আলোকের শোষণও স্বল্প হয় ফলে প্রস্বেদন হ্রাস পায়। উপরোক্ত কারণে জাঙ্গল উদ্ভিদের ঘন রোম প্রস্বেদন হারকে ব্যাহত করে।

কাণ্ডের **জল পরিবহণ নালিকার** (water conducting vessels) সহিত প্রস্বেদন সম্পর্কযুক্ত। সর্বাপেক্ষা চরম পরিস্থিতিতে নিমজ্জিত জলজ গুপ্তবীজী উদ্ভিদের ক্ষেত্রে পরিলক্ষিত হয়। এই সমস্ত ক্ষেত্রে নালিকা প্রায় অনুপস্থিত। ব্যক্তবীজী উদ্ভিদের ক্ষেত্রেও নালিকা অনুপস্থিত থাকায় ট্র্যাকাইড অধিক প্রতিবন্ধকের (resistance) কার্য করে এবং ফলে প্রস্বেদন হ্রাস হয়।

উদ্ভিদের মূল তন্ত্রের উপর জল-শোষণ নির্ভরশীল। শুষ্ক পরিবেশের উদ্ভিদের **মূল তন্ত্রের** ব্যাপক বৃদ্ধির ফলে তাহাদের মূল ও বিটপ আয়তন অনুপাত (root to shoot area ratio) বৃদ্ধি পায়। এই কারণে জাঙ্গল ও ব্যক্তবীজী উদ্ভিদের ক্ষেত্রে প্রতি একক পত্র আয়তনে প্রস্বেদন হারের বৃদ্ধি ঘটে।

প্রস্বেদনের গুরুত্ব (Significance of transpiration): উদ্ভিদ শারীরবিদ্‌দের নিকট প্রস্বেদনের গুরুত্ব একটি বিতর্কের বিষয়। উদ্ভিদের বিভিন্ন বিপাকীয় পদ্ধতির ন্যায় প্রস্বেদন যেহেতু উদ্ভিদে সংঘটিত হয় সেইহেতু ইহা বিশেষ প্রয়োজনীয় বলিয়া মনে করা হয়। প্রস্বেদনের গুরুত্ব সম্বন্ধে বর্তমানে সবাই একমত। অপরপক্ষে, শোষণ অপেক্ষা প্রস্বেদন অধিক হইলে উদ্ভিদের পক্ষে তাহা ক্ষতিকারক। এইজন্য কার্টিস (Curtis) প্রস্বেদনকে "প্রয়োজনীয় ক্ষতি" (necessary evil) রূপে আখ্যা দেন।

প্রস্বেদনের নিম্নলিখিত প্রয়োজনীয়তা প্রসঙ্গে আলোচনা করা হইল।

(ক) **জল চলাচলে ভূমিকা** (Role in water movement) : উদ্ভিদের জল চলাচলে প্রস্বেদনের ভূমিকা সম্বন্ধে বৈজ্ঞানিকের প্রায় একমত। সাধারণতঃ অধিক প্রস্বেদনে ব্যপন-চাপ-ঘাট্‌তি (diffusion-pressure-deficit) বৃদ্ধি পায় ফলে জল চলাচলও বৃদ্ধি পায়। অপরপক্ষে, স্বল্প প্রস্বেদনে জল চলাচল হ্রাস পায়। জল চলাচলে প্রস্বেদনের ভূমিকা সুবিদিত নয়, কারণ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে (দ্বাদশ অধ্যায়ে বিশদভাবে আলোচিত) যে, পত্রবিহীন কাণ্ডে মূলচাপের ফলে (কর্তিত কাণ্ডাগ্র হইতে) জল চলাচল ঘটিয়া থাকে।

(খ) **খনিজ লবণ-শোষণ ও তাহাদের চলাচলে ভূমিকা** (Role in the absorption and translocation of mineral salts) : জল ও খনিজ লবণ উভয়ই উদ্ভিদ মূলদ্বারা মৃত্তিকা হইতে শোষণ করে। পূর্বতন বৈজ্ঞানিকদের মতে খনিজ লবণ জলের সহিত শোষণ করিয়া পত্রে স্থানান্তরিত করে। ঐ বৈজ্ঞানিকদের মতে প্রস্বেদন খনিজ লবণ-শোষণ ও পরিবহণের সহিত প্রত্যক্ষভাবে সম্পর্কযুক্ত। কিন্তু বর্তমানে অনেকে মনে করেন খনিজ লবণ-শোষণ পদ্ধতিটি একটি সক্রিয় পদ্ধতি এবং জল-শোষণের সহিত তাহাদের কোন প্রত্যক্ষ সম্পর্ক নাই।

খনিজ লবণ সক্রিয়ভাবে শোষিত হইলেও ক্রামার (Kramer, 1957) পিটারসন (Petterson, 1960), লপুসিংস্কি (Lopushinsky, 1964) প্রভৃতি বৈজ্ঞানিকদের মতে আয়ণের শোষণ অনেকাংশে "প্রস্বেদন টানের" (transpiration pull) উপর নির্ভরশীল।

যে পদ্ধতিতেই খনিজ লবণ শোষিত হউক না কেন জাইলেম নালিকায় পৌঁছাইবার পর তাহাদের চলাচল ও বণ্টনে প্রস্বেদন বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে।

(গ) **সূর্য বিকিরণ শক্তি অপচয়ের ভূমিকা** (Role in the dissipation of radiant energy) : উদ্ভিদ-পত্র সূর্যালোকে অধিক সূর্য বিকিরণ শক্তি শোষণ করে। এই শক্তির একটি বিশেষ অংশ তাপে রূপান্তরিত হইয়া উদ্ভিদ পত্রের তাপ বৃদ্ধি করিয়া থাকে। সুতরাং এই শক্তি অপচয় (dissipation) অবশ্য প্রয়োজন।

পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, সূর্যালোকের শোষিত শক্তি তাপ শক্তিতে

রূপান্তরিত হইলে, তাত্ত্বিক মতানুসারে প্রতি বর্গ সেন্টিমিটার পাতার আয়তনে প্রতি মিনিটে শোষিত শক্তি 37°C তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। যেহেতু প্রোটোপ্লাসমের তাপীয় মরণ বিন্দু (thermal death point) 50°C হইতে 60°C-এর মধ্যে সুতরাং ঐ উষ্ণতায় আসিতে উদ্ভিদের কয়েক মিনিট মাত্র সময় লাগিবার কথা। প্রকৃতপক্ষে কদাপি উদ্ভিদ-কোষ ঐ তাপীয় মরণ বিন্দু পর্যন্ত পৌঁছায়। সাধারণভাবে কোষ-উষ্ণতা বায়ু-উষ্ণতার অধিক পৌঁছায় না। সুতরাং পত্রকোষে নিশ্চয়ই কোন শক্তি অপচয় পদ্ধতি কার্যকর হয়, যাহা পত্রকোষ তাপশক্তি সঞ্চয়কে বাধা প্রদান করে।

প্রস্বেদনের সময় বাষ্পমোচনের মাধ্যমে উদ্ভিদ-পত্রে শক্তির অপচয় ঘটিয়া থাকে। বাষ্পমোচনের সহিত কোষ মধ্যস্থ তাপশক্তিকে মুক্ত করিয়া প্রস্বেদনে কোষ শক্তির অপচয় ঘটাইয়া থাকে। প্রস্বেদন একটি শক্তি-অপচয় পদ্ধতি হইলেও কোষের যে পরিমাণ তাপ অপচয় প্রয়োজন তাহার সহিত বাষ্পমোচনের কোন তাত্ত্বিক সম্পর্ক নাই।

অধিকাংশ শারীরবিদ্, ও কৃষিবিদ্দের ভ্রান্ত ধারণা যে, উদ্ভিদ-পত্র শীতল করিবার জন্যই প্রস্বেদনের প্রয়োজন আছে। যদিও প্রস্বেদনের ফলে উদ্ভিদ-পত্রের উষ্ণতার তারতম্য পরিলক্ষিত হয় কিন্তু ইহার মূল তত্ত্ব পরিবেশ-প্রভাবের উপর নির্ভরশীল। সূর্যমুখী পত্রে প্রতি ঘণ্টায় 996 mg/dm² জল প্রস্বেদনের ফলে পত্রের উষ্ণতা 8°C পর্যন্ত হ্রাস পায়। অপরপক্ষে, ঐ পত্রে পত্ররন্ধ্র রুদ্ধ থাকিলে পত্রের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। টমাটো, তুলা প্রভৃতি উদ্ভিদ পত্রেও প্রস্বেদনের ফলে উষ্ণতা হ্রাস পায়। উদ্ভিদ-পত্রের উষ্ণতা হ্রাস উষ্ণতার পরিবহণ (conduction), পরিচলন (convection) বা বিকিরণ (radiation)-এর ফলে ঘটিলেও উষ্ণতার পরিবহণ বিশেষ কার্যকর। প্রশস্ত উদ্ভিদ-পত্র উষ্ণতার পরিচলন বিষয়ে অনুপযোগী হইলেও খাঁজকাটা (lobed) উদ্ভিদ-পত্র বিষয়ে বিশেষ কার্যকর।

উষ্ণতার অপচয় বিকিরণের ফলেই ঘটিয়া থাকে। এই কারণে নির্মেঘ আকাশে উদ্ভিদ-পত্রের উষ্ণতা পরিবেশ উষ্ণতা হইতে 5° হইতে 7°C হ্রাস পায় কিন্তু আকাশে মেঘ থাকিলে ঐ মেঘ উষ্ণতা বিকিরণ ঘটায় ফলে পত্রের বিকিরণ শীতলতা হ্রাস পায়। এই কারণে শীতল মৃত্তিকায় বিকিরণ উষ্ণতা গ্রহণ করিয়া পত্রের উষ্ণতা আরও হ্রাস পায়।

(ঘ) **কোষে পরম রসস্ফীতি রক্ষা** (Maintaining optimum cell turgidity)ঃ কোষের রসস্ফীতি রক্ষা করা প্রস্বেদনের অপর একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা।

উদ্ভিদের প্রয়োজনীয়তা ছাড়াও প্রস্বেদন উদ্ভিদের পক্ষে ক্ষতিকর। মৃত্তিকায় জল ঘাট্‌তি অথবা অধিক প্রস্বেদনের ফলে উদ্ভিদে জল ঘাট্‌তি ও কোষে রসস্ফীতি হ্রাস পায়। শুষ্ক পরিবেশ প্রসারিত হইলে উদ্ভিদে তীব্র শুষ্কীকরণ (desiccation) এবং অবশেষে মৃত্যু পর্যন্ত ঘটিয়া থাকে। জলের স্বল্প শুষ্ক অবস্থায় প্রথমতঃ কোষের রসস্ফীতি হ্রাস পায় এবং অবশেষে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হইয়া সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতির অবনতি ঘটায়।

প্রস্বেদনের অপরিহার্য প্রভাব উদ্ভিদের কোন বিশেষ উপকার না হইলেও ইহা উদ্ভিদ কোষ বা কলার জল সম্পর্ক স্থাপনে খুবই কার্যকর। এই জল সম্পর্ক উদ্ভিদের বিভিন্ন বিপাকের সহিত জড়িত।

গ্যাটেশান (Guttation)ঃ আদ্র, উষ্ণ মৃত্তিকায় এবং আদ্র পরিবেশে উদ্ভিদ বৃদ্ধি পাইলে উদ্ভিদের পত্র কিনারায় জলবিন্দু সঞ্চিত হয়। উপরোক্ত পরিবেশে উদ্ভিদ তরল অবস্থায় জল হ্রাসকে গ্যাটেশন (guttation) বলা হয়। একাধিক বীরুৎ জাতীয় উদ্ভিদে এই পদ্ধতিটি পরিলক্ষিত হইলেও বৃক্ষ জাতীয় উদ্ভিদে ইহা অনুপস্থিত। যে পরিবেশে উদ্ভিদ মূল দ্বারা অধিক জলশোষণ করে এবং প্রস্বেদন হার হ্রাস পায় সেই পরিবেশে বীরুৎ জাতীয় উদ্ভিদে গ্যাটেশান পদ্ধতি পরিলক্ষিত হয়। নাতিশীতোষ্ণ (temperate) অঞ্চলে শীতল রাত্রি ও উষ্ণ দিবার পর্যায়ক্রমিতার ফলে বসন্তকালের শেষে উপরোক্ত পদ্ধতি বিশেষ লক্ষ্যণীয়। পত্র কিনারা বা পত্রাগ্রের গ্যাটেশনের জলকে শিশির বিন্দু বলিয়া ভ্রম হয়।

উদ্ভিদ পত্রের কিনারায় **হাইডাথোড** (hydathode) নামক এক প্রকার রন্ধ্র থাকে। এই রন্ধ্রকে জলরন্ধ্র বলা হয়। হাইডাথোড রন্ধ্রের নিচে **এপিথেম** (epithem) নামক পাত্‌লা কোষ প্রাচীর বিশিষ্ট এক গুচ্ছ শিথিল কোষ উপস্থিত। এই এপিথেম কোষের নিচেই থাকে নালিকা বাণ্ডিল।

হাইডাথোডের নিম্নে অবস্থিত নালিকা বাণ্ডিলের রসচাপের ফলে জল ক্ষরণ (exudes) ঘটিয়া থাকে। এই চাপটি মূল চাপের (root pressure) সহিত ঘনিষ্ঠ সম্পর্কযুক্ত। নালিকা বাণ্ডিলে এই চাপের ফলে জল এপিথেমের

অন্তঃকোষীয় স্থানে ধীরে ধীরে জলবিন্দু আকারে সঞ্চিত হয়। হাইডাথোডের জল বিশুদ্ধ নয়, ইহা শর্করা, অ্যামাইনো অ্যাসিড ও খনিজ লবণের দ্রাব। ইহা বিশুদ্ধ জল নয় বলিয়া বাষ্পীভবনের পর পাতায় দাগ (scar) পরিলক্ষিত হয়। সাধারণভাবে নাতিশীতোষ্ণ মণ্ডলীয় উদ্ভিদে গ্যাটেশান পরিলক্ষিত হইলেও কতিপয় উষ্ণমণ্ডলীয় (tropical) উদ্ভিদেও গ্যাটেশান পরিলক্ষিত হয়। আমাদের দেশে কলোকেশিয়া (*Colocasia*) নামক এক প্রকার কচু জাতীয় উদ্ভিদের কচি পাতায় এক রাত্রে প্রায় 100 ml জল-ক্ষয় ঘটিয়া থাকে।

কচু জাতীয় উদ্ভিদ ব্যতীত ট্রপিওলাম (*Tropeolum*), টমাটো প্রভৃতি উদ্ভিদেও হাইডাথোড থাকায় গ্যাটেশন প্রক্রিয়ায় জল-হ্রাস ঘটিয়া থাকে।

গ্যাটেশান ব্যতীত উদ্ভিদের তরল জল ক্ষয় একাধিক গ্রন্থিতে (glands) সংঘটিত হয়। এই সমস্ত গ্রন্থি উদ্ভিদের পাতা, ফুল ও অন্যান্য অংশে অবস্থিত। এই সমস্ত গ্রন্থিতে জলের সহিত রেজিন (resins), উদ্বায়ী তৈল (volatile oils) প্রভৃতি রেচন পদার্থ সঞ্চিত থাকে।

দ্বাদশ অধ্যায়

জল-শোষণ ও পরিবহণ

(Water absorption and its transport)

অধিকাংশ স্থলজ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে তাহাদের বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণের জন্য মৃত্তিকা একটি প্রধান অন্তঃস্তর (substratun)। উদ্ভিদ বৃদ্ধির জন্য ইহা অত্যন্ত জটিল ও গতীয় (dynamic) মাধ্যম। স্থলজ উদ্ভিদ মূল তন্ত্রের মাধ্যমে মৃত্তিকা হইতে জল ও খনিজ লবণ শোষণ করে। মৃত্তিকায় বিভিন্ন ধরণের জল বর্তমান।

মৃত্তিকাস্থিত জল এবং তাহাদের সদ্ব্যবহার (Types of soil water and their availability) ঃ মৃত্তিকাস্থিত জলের প্রধান উৎস হইল বৃষ্টিপাত। অধিক বৃষ্টিপাত বা জলসেচনের ফলে মৃত্তিকা-পৃষ্ঠের অধিকাংশ জল ধাবিত হয়। ইহাদিগকে **ধাবমান জল** (run-away water) বলা হয় এবং এই জল উদ্ভিদ শোষণে কার্যকর নয়। অবশিষ্ট জল অনুস্রাবিত (percolated) হইয়া মৃত্তিকা কণিকার মধ্যবর্তী স্থানে (pore space) নিম্ন বরাবর ধাবিত হয়। মহাকর্ষের ফলে এই জল নিম্নে ধাবিত হইবার সময় কিঞ্চিৎ মৃত্তিকা কণিকার মধ্যবর্তী ছিদ্র স্থানে লুক্কায়িত থাকে। মৃত্তিকাস্থিত জলকে সাধারণ ভাবে চারিটি শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়।

(ক) **মহাকর্ষীয় জল** (Gravitational water) ঃ বৃষ্টি ও জলসেচের পর অধিকাংশ জল মহাকর্ষের ফলে নিম্নে ধাবিত হয়। এই জল ধারণের গতি মৃত্তিকা মধ্যবর্তী ছিদ্র স্থানের উপর নির্ভরশীল। এই জলকে **মহাকর্ষীয় জল** বলা হয়। এই জল মূল তন্ত্রের নাগালের বাইরে থাকে বলিয়া ইহা উদ্ভিদের শোষণে কার্যকারী নয়। এই জল মৃত্তিকায় অধিককাল স্থায়ী হইলে মৃত্তিকা জলমগ্ন (water logged) হয়। ধান (*Oryza sativa*) প্রভৃতি কতিপয় স্থলজ উদ্ভিদ ব্যতীত অধিকাংশ উদ্ভিদ এই মৃত্তিকায় বাঁচিতে পারে না। ধান প্রভৃতির ক্ষেত্রে মূলের বাতান্বয়ন (aeration) বিটপের সাহায্যে সম্পাদিত হয়।

(খ) **কৈশিক জল** (Capillary water) : মহাকর্ষীয় জল নিষ্কাশিত হইবার পর মৃত্তিকায় যে জল অবশিষ্ট থাকে তাহাকে **কৈশিক জল** বলা হয়। এই কৈশিক জল উদ্ভিদের প্রধান জলের উৎস। মৃত্তিকা কণিকার ক্ষুদ্র কৈশিক স্থানে (capillary space) মহাকর্ষ শক্তির বিরুদ্ধে যে জলের পাতলা আবরণ মৃত্তিকা কণিকাকে ঘিরিয়া থাকে তাহাই বস্তুত কৈশিক জল। মৃত্তিকায় মহাকর্ষীয় জল না থাকিয়া সর্বাপেক্ষা অধিক কৈশিক জলের উপস্থিতিকে **মৃত্তিকার জল ধারণ ক্ষমতা** (field capacity) বলা হয়। কর্দমাক্ত মৃত্তিকা কণিকার আয়তন ক্ষুদ্র এবং ইহাদের জলধারণ ক্ষমতা অধিক ; অপরপক্ষে, বেলে মৃত্তিকা কণিকা বৃহৎ, ইহাদের জলধারণ ক্ষমতা সর্বাপেক্ষা কম।

(গ) **জলাকর্ষী জল** (Hygroscopic water) : মৃত্তিকা কণিকাকে বায়ুতে রাখিলে জল ক্রমশ বাষ্পাকারে মুক্ত হয়। এই অবস্থায় অবশিষ্ট জল এবং মৃত্তিকা কণিকার আকর্ষণ অধিক হওয়ায় বায়ু-শুষ্ক (air dry) মৃত্তিকায় স্বল্প পরিমাণ জল বর্তমান থাকে। এই জলকে **জলাকর্ষী জল** বলা হয়। এই জল শোষণের পক্ষে অনুপযোগী।

(ঘ) **জলীয় বাষ্প** (Water vapour) : তরল জলের সহিত মৃত্তিকা সংলগ্ন বায়ুতে জল বাষ্পাকারে উপস্থিত থাকে। সিক্ত মৃত্তিকা হইতে এই জলবাষ্প কতিপয় উদ্ভিদ শোষণ করিলেও ইহার পরিমাণ অধিকাংশ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে খুবই নগণ্য। অর্কিড (orchid) জাতীয় পরাশ্রয়ী উদ্ভিদ বায়ুর জলীয় বাষ্প শোষণ করিয়া থাকে।

স্থায়ী শুষ্কতার শতকরা হার (Permanent wilting percentage বা PWP) : উদ্ভিদমূল দ্বারা কৈশিক জল শোষণ করে। জলশোষণের ফলে কৈশিক জলের পরিমাণ ক্রমশ হ্রাস পায়। মৃত্তিকার জলের পরিমাণ হ্রাস পাইলে অবশিষ্ট জল কণিকাগুলি মৃত্তিকা কণিকার সহিত দৃঢ় ভাবে আবদ্ধ থাকে। এই জল উদ্ভিদ শোষণ করিতে পারে না। সুতরাং উপরোক্ত পরিস্থিতিকে উদ্ভিদকে বেশীক্ষণ রাখিলে শীঘ্রই উদ্ভিদ শুকাইয়া যায় (wilted) ; যদিও তখনও মৃত্তিকায় সামান্য পরিমাণ জল উপস্থিত থাকে। এই অবস্থায় মৃত্তিকায় শুষ্ক ওজনের জলের শতকরা হারকে **স্থায়ী শুষ্কতার শতকরা হার** বলা হয়। মৃত্তিকায় জলের পরিমাণ নির্ণয় করিতে প্রথমে মৃত্তিকার কোন নমুনাকে ওজন করিয়া 106°-110°C (সেন্টিগ্রেড) উত্তপ্ত করিতে হয়। পরে

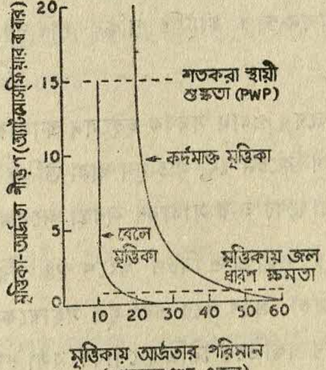
পুনরায় ওজন করিয়া দুইটি ওজনের পার্থক্য হইতে শতকরা-হার নির্ণয় করা হইয়া থাকে।

উপরোক্ত স্থায়ী শুষ্কতা মৃত্তিকার জল-আদ্র'তার একটি ধ্রুবক। বিভিন্ন মৃত্তিকার গঠনের উপর মৃত্তিকার স্থায়ী শুষ্কতার ভিন্নতা পরিলক্ষিত হয় এবং কর্দমাক্ত মৃত্তিকায় ইহার মান সর্বাপেক্ষা অধিক। মৃত্তিকায় স্থায়ী শুষ্ক-পরিবেশে জলশক্তির (potential of water) পরিমাণ −10 হইতে −20 অ্যাটমোস্ফিয়ার (বা বার) হয়।

মৃত্তিকায় মহাকর্ষীয়, ঔদস্থিতিমূলক (hydrostatic), অভিস্রবণীয় প্রভৃতি বিভিন্ন প্রকারের জলের গড় শক্তিকে প্রায় তিন দশক পূর্বে ওয়াডলে (Wadleigh) এবং এয়ার্স (Ayers) **সম্পূর্ণ-মৃত্তিকা-আর্দ্রতা পীড়ন** (total soil moisture stress বা TSMS) বলিয়া অভিহিত করেন।

মৃত্তিকা দ্রবণের অভিস্রবণীয় চাপ এবং মৃত্তিকা অদ্র'তার পীড়নকে একত্রিত ভাবে সম্পূর্ণ-মৃত্তিকা-আদ্র'তা পীড়ন (TSMS) ও বলা হয়।

জল-শোষণ (Water absorption): সাধারণ অবস্থায় সমস্ত উদ্ভিদ তাহাদের মূলরোম দ্বারা মৃত্তিকা হইতে জল শোষণ করে। মৃত্তিকাস্থ জল



চিত্র-65 : মৃত্তিকার আদ্র'তার পরিমাণের সহিত মৃত্তিকা আদ্র'তা পীড়নের আন্তসম্পর্ক।

ব্যাপন-চাপ ঘাটতির (diffusion pressure deficit) ফলে মূলরোমে প্রবেশ

করে। মূলে কোষ রসের ব্যাপন-চাপ ঘাট্‌তি বৃদ্ধি থাকাকালীন মৃত্তিকা-দ্রবণ হইতে জল কোষে প্রবেশ করে। কোষে দ্রবণের ঘনত্ব অধিক বা স্ফীতি চাপ (turgour pressure) হ্রাস পাইলে কোষ রসের ব্যাপন-চাপ ঘাট্‌তি পরিলক্ষিত হয় এবং সেক্ষেত্রে জল-শোষণ বৃদ্ধি পায়।

বর্তমানে জল-শোষণ প্রক্রিয়া সম্বন্ধে দুইটি মতবাদ প্রচলিত।

(ক) **নিষ্ক্রিয় শোষণ** (Passive absorption): প্রস্বেদনের ফলে পত্রের মেসোফিল কলায় ব্যাপন-চাপ ঘাট্‌তি পরিলক্ষিত হয়; ফলে জাইলেম বাহিকায় এবং ট্র্যাকাইড কোষগুলিতে ঋণাত্মক চাপের (negative pressure) সৃষ্টি হয়। এই ব্যাপন-চাপ ঘাট্‌তি ক্রমশঃ পত্রের মেসোফিল কলা হইতে জাইলেমের মাধ্যমে মূলরোম কোষে স্থানান্তরিত হয়। বস্তুতপক্ষে ব্যাপন-চাপ ঘাট্‌তির ফলে একটি চোষণ শক্তির (suction force) সৃষ্টি হয় এবং ইহারই ফলে উদ্ভিদ মৃত্তিকা হইতে জল টানিয়া লয়।

কোষ-রসের ব্যাপন-চাপ ঘাট্‌তির বৃদ্ধি উহার ঋণাত্মক চাপের উপর নির্ভরশীল এবং ইহা প্রকৃতপক্ষে

ব্যাপন-চাপ ঘাট্‌তি ≡ অভিস্রবণীয় চাপ – (– স্ফীতি চাপ)
(DPD) (OP) (–TP)

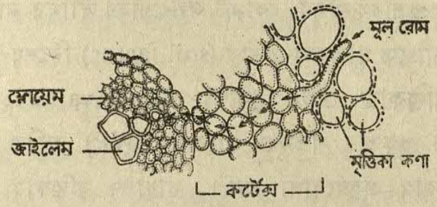
কোষ-রসের ব্যাপন-চাপ ঘাট্‌তি বৃদ্ধির সাধারণ পরিণতি হইল কোষে অধিক জল-শোষণ।

নিষ্ক্রিয় জল-শোষণের প্রধান সমর্থক হইলেন ক্রামার (Kramer)। তিনি 1959 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, মৃত মূল দ্বারা উদ্ভিদ জল শোষণে সমর্থ এবং অনেক ক্ষেত্রে জল-শোষণের হার সাধারণ অবস্থা অপেক্ষা অধিক হয়।

উপরোক্ত নিষ্ক্রিয় পদ্ধতিতে বিটপ অংশে সৃষ্ট পরিবেশ (প্রস্বেদন) জল-শোষণের প্রধান ভূমিকা গ্রহণ করে এবং মূল সহায়কের (subsidiary) কাজ করে বলিয়া এই শোষণ পদ্ধতিকে নিষ্ক্রিয় শোষণ বলা হয়।

(খ) **সক্রিয় শোষণ** (Active absorption): সক্রিয় শোষণ বিপাকীয় শক্তির দ্বারা সাধিত হয় এবং এই শোষণ পদ্ধতিটি মূলে সীমাবদ্ধ। সক্রিয় শোষণ অভিস্রবণীয় (osmotic) এবং অনভিস্রবণীয় (non-osmotic) দুইটি পদ্ধতিতে সমাধা হয়।

অ্যাটকিন্স (Atkins) 1916 খৃষ্টাব্দে এবং প্রিস্টলে (Priestley) 1920-22 খৃষ্টাব্দে উদ্ভিদের অভিস্রবণীয় জল-শোষণের কথা উল্লেখ করেন। তাঁহাদের মতে অধিকাংশ উদ্ভিদের জাইলেম নালীকার রসে লঘু অভিস্রবণীয় চাপ পরিলক্ষিত হয় এবং তাহা মৃত্তিকা জলের ব্যাপন-চাপ ঘাটতি অপেক্ষা অধিক।



চিত্র-66 : উদ্ভিদ মূলরোম দ্বারা সক্রিয় জল শোষণ পদ্ধতি।

মৃত্তিকার জল জাইলেম নালীকায় মূলের অন্তঃ কোষের মাধ্যমে অভিস্রবণের ফলে শোষিত হয়। মূলরোমের অভিস্রবণীয় চাপ মৃত্তিকাস্থ জল অপেক্ষা অধিক হওয়ায় অভিস্রবণ পদ্ধতিতে জল মৃত্তিকা হইতে মূলরোমে প্রবেশ করে এবং অতঃপর কোষ হইতে কোষে অভিস্রবণ পদ্ধতি দ্বারা জল মূলের অন্তঃত্বক (endodermis) পর্যন্ত চালিত হয়। অন্তঃত্বকে সুবেরিন যুক্ত ক্যাসপেরিয়ান পটি (casparian strip) থাকায় সেই সব অংশ জল চলাচলে অসমর্থ। অন্তঃত্বকের "গমন কোষ" (passage cell) মাধ্যমে এই জল চলাচল ঘটিয়া থাকে (চিত্র-66)।

রোসেনি এবং বার্টলেট (Rosene and Bartlett) 1950 খৃষ্টাব্দে পেঁয়াজের মূলে এবং মূলার মূলরোমে পরীক্ষা করিয়া প্রমাণ করেণ যে, উদ্ভিদের জল শোষণ পদ্ধতিতে শ্বসন একটি বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে—যদিও ইহা একটি পরোক্ষ ভূমিকা।

জল-শোষণে পরিবেশের প্রভাব (Environmental factors affecting the absorption of water) : মূলের প্রান্তস্থ কোষের ব্যাপন-চাপ ঘাটতি বা মৃত্তিকা জলের ব্যাপন-চাপ ঘাটতি প্রভাবিত সমস্ত প্রভাবই উদ্ভিদের জল-শোষণকে নিয়ন্ত্রিত করে। উদ্ভিদের মূল অবিরাম মৃত্তিকায় বর্দ্ধিত হয় এবং মূলরোম নূতন মৃত্তিকা কণিকার সংস্পর্শে আসে ফলে সুষ্ঠভাবে জল-শোষণ

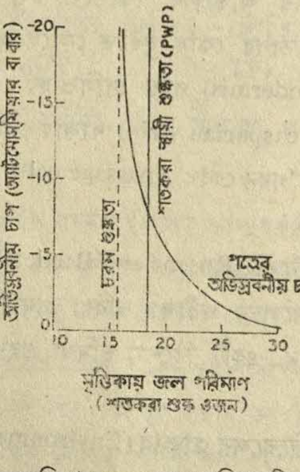
ঘটিয়া থাকে। সুতরাং যে সমস্ত প্রভাব উদ্ভিদ মূলের বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রণ করে তাহারা পরোক্ষভাবে জল-শোষণের উপর প্রভাব বিস্তার করে।

অপরপক্ষে, জল-শোষণের নিষ্ক্রিয় শোষণ পদ্ধতিতে প্রস্বেদনের প্রয়োজনীয়তার কথা উল্লেখ করা হইয়াছে। সুতরাং প্রস্বেদন প্রভাবকগুলিও পরোক্ষভাবে জল-শোষণকে নিয়ন্ত্রণ করে।

উপরোক্ত প্রভাবকগুলির কোনটি জল-শোষণ সীমিত না করিলে উদ্ভিদের জল-শোষণ পদ্ধতিতে মৃত্তিকার প্রভাব (soil factor) বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ।

(ক) **মৃত্তিকাস্থ গ্রহণ যোগ্য জল** (Available soil water): মৃত্তিকায় স্থায়ী শুষ্কতার শতকরা হারের (PWP) অধিক জলের পরিমাণই উদ্ভিদের মৃত্তিকাস্থ গ্রহণযোগ্য জল। সাধারণ মৃত্তিকায় জলধারণ ক্ষমতা (field capacity) এবং স্থায়ী শুষ্কতার শতকরা হারের মধ্যবর্তী অবস্থায় উদ্ভিদের জল-শোষণ সমহারে ঘটিয়া থাকে।

মৃত্তিকাস্থ জলের পরিমাণ হ্রাস পাইলে পত্রকোষে অভিস্রবণীয় চাপ বৃদ্ধি পায় (চিত্র-67)। মৃত্তিকা-জলের ব্যাপন-চাপ ঘাটতি বৃদ্ধি ঘটিলে উদ্ভিদ



চিত্র-67 : মৃত্তিকায় জলপরিমাণ ও পত্রের অভিস্রবণীয় চাপের আন্তসম্পর্ক।

কোষের ব্যাপন-চাপ ঘাটতির বৃদ্ধি ঘটে, ফলে নিষ্ক্রিয় জল-শোষণ পদ্ধতির বৃদ্ধি পায়। মৃত্তিকায় স্থায়ী শুষ্কতার শতকরা হারের নিম্নে জলের পরিমাণ থাকিলে, স্বল্প পরিমাণ জল-শোষণ ঘটে এবং কোষের রসস্ফীতি (turgidity) রক্ষা করা

সম্ভব হয় না। অপরপক্ষে, মৃত্তিকার জলের পরিমাণ বৃদ্ধি পাইলে, মৃত্তিকার বাতান্বয়ন (aeration) হ্রাস পায়। ইহার ফলে শ্বসন ব্যাহত হয় এবং জল-শোষণও হ্রাস পায়।

(খ) **মৃত্তিকা উষ্ণতা** (Soil temperature): মৃত্তিকা উষ্ণতার সহিত জল-শোষণ বিশেষ সম্পর্কযুক্ত। মৃত্তিকার উষ্ণতা হিমাঙ্কের উর্দ্ধে থাকিলে জল-শোষণ হ্রাস পায়, যদিও ইহার সঠিক মাত্রা বিভিন্ন পদ্ধতিতে বিভিন্ন। ঠাণ্ডা আবহাওয়ার উদ্ভিদ অপেক্ষা উষ্ণ আবহাওয়ার উদ্ভিদের ক্ষেত্রে অধিক মৃত্তিকা উষ্ণতা হ্রাসে জল-শোষণ হ্রাস পায়।

মৃত্তিকার স্বল্প উষ্ণতায় জল-শোষণ হ্রাসের তথ্যটি অতীব জটিল। স্বল্প উষ্ণতায় জল-শোষণ হ্রাসের কারণগুলি হইল-(ক) স্বল্প উষ্ণতা জলের সান্দ্রতা (viscosity) বৃদ্ধি করে, ফলে জলের চলাচল হ্রাস পায়, (খ) স্বল্প উষ্ণতায় প্রোটোপ্লাস্ম-ভেদ্যতা হ্রাস পায়, (গ) স্বল্প উষ্ণতায় মূলের বিপাকীয় কার্য হ্রাস পায়, ফলে মূলের বৃদ্ধি বাধাপ্রাপ্ত হয়।

হ্যাস (Haas) 1936 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে লেবু, কমলা এবং আঙুরের ক্ষেত্রে 30°—35°C উর্দ্ধ উষ্ণতায় জল-শোষণ হ্রাস পায়।

(গ) **মৃত্তিকার বাতান্বয়ন** (Soil aeration): উপযুক্ত বাতান্বিত মৃত্তিকায় জল-শোষণ সাধারণভাবে সম্পন্ন হয়; অপরপক্ষে মৃত্তিকা উপযুক্ত বাতান্বিত না হইলে জল-শোষণের হার হ্রাস পায়। মৃত্তিকা যথেষ্ট পরিমাণ বাতান্বিত না হইলে অক্সিজেনের পরিমাণ হ্রাস পায় এবং কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিমাণ শতকরা 10-15 ভাগ থাকে। বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, মৃত্তিকায় অক্সিজেনের অভাব ঘটিলে (কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিমাণ বৃদ্ধি সত্ত্বেও) জল-শোষণের পরিমাণ অতীব হ্রাস পায়। উদ্ভিদ মূলকে বিশুদ্ধ কার্বন ডাই-অক্সাইড বা অধিক ঘনত্ব (শতকরা 50 ভাগ) কার্বন ডাই-অক্সাইডে রাখিলে জল-শোষণের হার অতীব হ্রাস পায়। হোগল্যাণ্ড ও ব্রয়ার (Hoagland and Broyer) 1942 খৃষ্টাব্দে ইহার কারণ নির্ণয় করিতে গিয়া বলিয়াছেন যে, অধিক কার্বন ডাই-অক্সাইড মূলরোমের ভেদ্যতা হ্রাস করে এবং প্রোটোপ্লাসমের সান্দ্রতা বৃদ্ধি করে। উপরোক্ত কারণগুলির ফলে জল-শোষণ ব্যাহত হয়। ক্রামার ও জ্যাকসন (Kramer and Jackson) 1954 খৃষ্টাব্দে আরও লক্ষ্য করেন যে মৃত্তিকাস্থ বায়ুতে নাইট্রোজেন অপেক্ষা কার্বন ডাই-

অক্সাইড দ্বারা পূর্ণ করিলে টমাটো ও সূর্যমুখী উদ্ভিদের শুষ্কতা (wilting) পরিলক্ষিত হয়। যদিও পরবর্তী কালে 1957 খৃষ্টাব্দে ক্রামার (Kramer) লক্ষ্য করেন যে, সাধারণ অবস্থায় মৃত্তিকার কার্বন ডাই-অক্সাইডের ঘনত্ব কদাচিৎ বিষবৎ সীমা অতিক্রম করে।

মৃত্তিকায় স্বল্প বাতান্বিত পরিবেশে মূলের বৃদ্ধি ও বিপাকীয় কার্য হ্রাস পায়, ফলে মূলের লবণ শোষণ ও সঞ্চয় ব্যাহত হয়। মূলের লবণ-শোষণ ও সঞ্চয় মূলের জল-শোষণ পদ্ধতিকে গভীরভাবে প্রভাবান্বিত করে।

(ঘ) **মৃত্তিকা দ্রবণের ঘনত্ব** (Concentration of the soil solution) : পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে যে, মৃত্তিকা দ্রবণ ও মূল কোষ-রসের ব্যাপন চাপ ঘাটতির নতি মাত্রার (gradient) উপর জল-শোষণ ঘটিয়া থাকে। সুতরাং মৃত্তিকা দ্রবণের ঘনত্বের উপর জল-শোষণ বিশেষ প্রভাবিত। মৃত্তিকা দ্রবণের অভিস্রবণীয় চাপ বৃদ্ধি ঘটিলে জল-শোষণ হ্রাস পায় এবং অধিক হইলে মূল-কোষের জল বাহিরে নির্গত হয়।

লবণাম্বুজ উদ্ভিদ (halophytes) অধিক মৃত্তিকা দ্রবণে সহনশীল। তাহাদের কোষ মধ্যস্থিত অভিস্রবণীয় চাপ সাধারণ উদ্ভিদ অপেক্ষা অধিক, তাই তাহারা অধিক মৃত্তিকা দ্রবণেও জল-শোষণে সক্ষম।

জল পরিবহণের পথ (Pathway of water transport) : মৃত্তিকা হইতে মূলদ্বারা শোষিত হইবার পর জল নির্জীব জাইলেম বাহিকা (vessels) এবং ট্র্যাকাইডের (tracheids) মাধ্যমে ঊর্ধ্বমুখে বাহিত হয়। শারীরতত্ত্বগত ভাবে জাইলেম জল পরিবহণের উপযোগী। জাইলেমের বাহিকাগুলি নালীকার আকারে বিদ্যমান। ট্র্যাকাইডের গহ্বরের মাধ্যমে জল একটি ট্র্যাকাইড হইতে অপর ট্র্যাকাইডে বাহিত হয়। জল পরিবহণে ট্র্যাকাইড বাহিকা অপেক্ষা অধিক বাধাপ্রদান (resistance) করে। কনিফার (conifers) নামক ব্যক্তবীজী উদ্ভিদের জল পরিবহণ পত্রমোচী গুপ্তবীজী উদ্ভিদ অপেক্ষা স্বল্পতর। জলজ উদ্ভিদে জাইলেম বাহিকা ও ট্র্যাকাইডের সংখ্যা সাধারণ উদ্ভিদ অপেক্ষা কম।

নিম্নলিখিত পর্যবেক্ষণের দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, জলের পরিবহণ জাইলেমের মাধ্যমে সাধিত হয়।

(ক) উদ্ভিদের কর্তিত কাণ্ড ইওসিনের (eosin) জলীয় দ্রবণে রাখিলে

উর্দ্ধমুখী সংবহন পরিলক্ষিত হয়। পরীক্ষা শেষে কাণ্ডের প্রস্থচ্ছেদ করিয়া অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে নিরীক্ষা করিলে জাইলেম বাহিকা ও ট্র্যাকাইড গাত্রে ইওসিন রঙ্ দেখা যায়। উপরোক্ত পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, কাণ্ডে জল পরিবহণ বাহিকা ও ট্র্যাকাইডের মাধ্যমে সাধিত হয় সমগ্র উদ্ভিদকে ইওসিন দ্রবণে রাখিলেও একই সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায়।

বিডালফ, নাকায়ানা এবং কোরী (Biddulph, Nakoyana and Cory) 1961 খৃষ্টাব্দে তেজস্ক্রিয় জল ব্যবহার করিয়া একই সিদ্ধান্তে উপনীত হইয়াছেন।

(খ) কাণ্ডের "পরিবেষ্টন পরীক্ষা" (ringing experiment) দ্বারাও জল পরিবহণে জাইলেমের প্রয়োজনীয়তা প্রমাণিত হয়। উদ্ভিদের বল্কল (bark) অপসারণে জলের পরিবহণ প্রভাবিত হয় না, অপরপক্ষে জাইলেম অপসারণে উদ্ভিদের শুষ্কতা পরিলক্ষিত হয়।

উর্দ্ধমুখী পরিবহণে জাইলেম বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করিলেও কার্টিস (Curtis) 1935 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, জাইলেম রসের খনিজ লবণ ফ্লোয়েম মাধ্যমে উর্দ্ধমুখে ধাবিত হয়। পরবর্তী কালে 1939 খৃষ্টাব্দে স্টাউট ও হোগল্যাণ্ড (Stout and Hoagland) ফ্লোয়েম অপসারণ করিয়া তেজস্ক্রিয় পটাশিয়াম ^{42}Kপরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, মৃত্তিকা হইতে শোষিত খনিজ লবণ প্রধানতঃ জাইলেম মাধ্যমে উর্দ্ধমুখে প্রবাহিত হইলেও অনেক ক্ষেত্রে জাইলেম হইতে ফ্লোয়েমে পার্শ্বীয় চলন (lateral transport) পরিলক্ষিত হয়।

স্কুগ (Skoog) 1938 খৃষ্টাব্দে ইণ্ডোল অ্যাসেটিক অ্যাসিড (IAA) নামক হরমোন চলাচল পর্যালোচনা করিতে গিয়া লক্ষ্য করেন যে, IAA জাইলেম মাধ্যমে সংবাহিত হয়। IAA ব্যতীত NAA, 2-4-D প্রভৃতি কৃত্রিম হরমোন, একাধিক জীবাণু প্রতিরোধক (antibiotics), কীটনাশক (insecticides) অথবা বীরুৎনাশক (herbicides) বস্তুর পরিবহণও জাইলেম মাধ্যমে পরিবাহিত হয়।

খনিজ আয়ণের পরিবহণ (Transport of mineral ions) : মৃত্তিকা হইতে শোষিত খনিজ উপাদান অধিকাংশ ক্ষেত্রে জাইলেম বাহিকার মাধ্যমে অজৈব উপাদান রূপে বাহিত হয়। কতিপয় অজৈব উপাদান ভিন্ন রূপে

বাহিত হয়। উদাহরণস্বরূপ, মৃত্তিকা হইতে নাইট্রেট (NO_3^-) শোষিত হইলেও জাইলেমে নাইট্রেটের উপস্থিতি সচরাচর পরিলক্ষিত হয় না। উদ্ভিদের জাইলেম রসে নাইট্রোজেন যৌগগুলি অ্যামাইনো অ্যাসিড ও অ্যামাইড (গ্লুটামিন ও অ্যাসপারাজিন) নামক নাইট্রোজেন যৌগে পরিবাহিত হয়।

উদ্ভিদে গন্ধকের পরিবহণ অজৈব সালফেট ($SO_4^=$) রূপে সংঘটিত হইলেও জাইলেম রসে গন্ধক মিথায়োনিন ও সিস্টাইন নামক গন্ধক যুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড অথবা ট্রাইপেপটাইড গ্লুটাথায়োনের মাধ্যমে পরিবাহিত হইয়া থাকে।

অনেক ক্ষেত্রে আয়নগুলি নানাবিধ জৈববাহক অণুর সহিত যুক্ত হইয়া বাহিত হয়। টলবার্ট (Tolbert) এবং সহকর্মীবৃন্দ 1955 খৃষ্টাব্দে তেজস্ক্রিয় ফসফরাস ^{32}P দ্বারা প্রমাণ করেন যে, ফসফরাস (অজৈব ফসফরাস ব্যতীত) ফসফোরিল (phosphoryl) নামক জৈব যৌগের মাধ্যমে পরিবাহিত হয়।

উদ্ভিদ কাণ্ডে প্রশমিত pH-এর উর্দ্ধ (>7) অথবা ফসফরাসের আধিক্যে লৌহের পরিবহণ ব্যাহত হয় এবং ক্লোরোসিস নামক অভাবজনিত রোগ পরিলক্ষিত হয়। লৌহের পরিবহণ ইথিলিন ডাই অ্যামাইন টেট্রা অ্যাসেটিক অ্যাসিড (EDTA) নামক চিলেট (chelated) যৌগের মাধ্যমে সুষ্ঠভাবে সম্পাদিত হয়।

জল পরিবহণ পদ্ধতি (Mechanism of water movement): জাইলেম রসের উর্দ্ধমুখী সংবহণ (পরিবহণ) সম্বন্ধে বিভিন্ন তত্ত্ব (theory) প্রস্তাবিত হইলেও একাধিক পদ্ধতি কার্যকর। জল পরিবহণের বিভিন্ন তত্ত্বগুলি নিম্নে আলোচিত হইল।

(ক) **অধিপ্রাণবাদ** (Vital theories): জল পরিবহণ মাধ্যম জাইলেম বাহিকা ও ট্র্যাকাইড নির্জীব হইলেও তাহারা সজীব কোষ দ্বারা পরিবেষ্টিত। জাইলেম পরিবেষ্টিত সজীব কোষ জল পরিবহণে সহায়ক হইলেও ইহার প্রত্যক্ষ প্রমাণ অজ্ঞাত। গডলিউস্কি (Godlewski) 1884 খৃষ্টাব্দে এবং জগদীশচন্দ্র বসু (J. C. Bose) 1923 খৃষ্টাব্দে উদ্ভিদের জল পরিবহণে অধিপ্রাণবাদের কথা উল্লেখ করেন। গডলিউস্কির "রিলে-পাম্প তত্ত্ব" (relay pump theory) এবং বসুর "স্পন্দনশীল চলন তত্ত্বটি" (pulsatory movement

theory) অধিপ্রাণবাদ তত্ত্বকে সমর্থন করে। বসুর তত্ত্বটি প্রকৃতপক্ষে গডলিউস্কি মতবাদের বিশদ্‌রূপ। এই মতবাদ অনুসারে অন্তস্ত্বকের (endodermis) স্পন্দনশীল চলন জল পরিবহণে সাহায্য করে। অন্তস্ত্বকীয় কোষের সর্বদা প্রসারণ ও সঙ্কোচনের ফলে স্পন্দনশীল চলন পরিলক্ষিত হয়। কোন একটি কোষের সঙ্কোচনের সঙ্গে সঙ্গে উপরের কোষে প্রসারণ ঘটে। প্রসারিত কোষ অতঃপর সঙ্কুচিত হওয়ায় জাইলেম রসে পাম্পের ন্যায় কার্য পরিলক্ষিত হয় এবং ফলে জল উর্দ্ধমুখে পরিবাহিত হয়।

1893 খৃষ্টাব্দে স্ট্রাসবারগার (Strasburger) সজীব কোষকে পিকরিক অ্যাসিড দ্বারা নির্জীব করাইয়া জলের পরিবহণ লক্ষ্য করেন। তাঁহার মতে জলের পরিবহণ সজীব কোষের নির্ভরশীল নয়। তাঁহার এই প্রাথমিক ধারণাটি অবশ্য পরবর্তীকালে স্বীকৃত হয় নাই। বর্তমান কালে জল পরিবহণে সজীব কোষের ভূমিকা অনস্বীকার্য।

(খ) **মূলজ চাপ** (Root pressure) : বীরুৎ জাতীয় উদ্ভিদের কাণ্ড মূলের নিকট হইতে কর্তন করিলে, কর্তিত অংশ হইতে জাইলেম রসের ক্ষরণ (exudation) পরিলক্ষিত হয়। উপরোক্ত ঘটনাটিকে মূলজ চাপ বলা হয়। কর্তিত অংশে একটি রবারের পটি দ্বারা একটি ম্যানোমিটার (manometer) যুক্ত করিলে মূলজ চাপ নির্ণয় করা সম্ভব। মূলজ চাপ 3-5 অ্যাটমোস্ফিয়ার (বা বার) পর্যন্ত পরিলক্ষিত হয়।

মূলজ চাপ মূলকোষের বিপাকীয় কার্যের সহিত সম্পর্কিত বলিয়া ইহা একটি সক্রিয় পদ্ধতি। অক্সিজেন-বিহীন পরিবেশে মূলজ চাপের মাত্রা অপেক্ষাকৃত স্বল্প হয়। পটাশিয়াম সায়ানাইড (KCN) জাতীয় শ্বসন-প্রতিরোধকারী উপাদানের উপস্থিতিতেও মূলজ চাপের হ্রাস পরিলক্ষিত হয়।

একাধিক বীরুৎ ও কাষ্ঠল উদ্ভিদে মূলজ চাপ পরিলক্ষিত হইলেও কাষ্ঠল উদ্ভিদে ইহারা বসন্তকালে ঘটিয়া থাকে। জাইলেম রসের এই উৎস্রোত (ascent) উদ্ভিদের জল ও রস পরিবহণের জন্য দায়ী। বিশেষ পরিবেশে মূলজ চাপ কতিপয় উদ্ভিদে নিশ্চিত ভাবে জল পরিবহণে সক্ষম হইলেও সমস্ত উদ্ভিদে ইহাদের ভূমিকা মুখ্য বলিয়া বিবেচনা করা যায় না। অধিকাংশ উদ্ভিদে জল পরিবহণের জন্য যে চাপের* প্রয়োজন মূলজ চাপ (3-5 বার) সে

---

* সাধারণতঃ 100 মি. উচ্চ উদ্ভিদে জল পরিবহণের জন্য 40 বার (অ্যাটমোস্ফিয়ার) চাপের প্রয়োজন।

তুলনায় খুবই নগণ্য। অধিক প্রস্বেদনকারী উদ্ভিদে স্বল্প মূলজ চাপ পরিলক্ষিত হইলেও কনিফার জাতীয় ব্যক্তবীজী উদ্ভিদে মূলজ চাপ মোটেই পরিলক্ষিত হয় না। যে সমস্ত বীরুতে মূলজ চাপ থাকে সেখানেও (যখন জল পরিবহণ বিশেষ প্রয়োজন) মূলজ চাপ সর্বদা পরিলক্ষিত হয় না। অপর-পক্ষে, পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে যে, জাইলেম রস সাধারণ অবস্থায় একটি কঠিন টানে (tension) আবদ্ধ, মূলজ চাপের ফলে জাইলেম রসের উৎস্রোত ঘটিলে, জাইলেম রসটি একটি নিশ্চিত চাপে বর্তমান থাকিবে (প্রকৃতপক্ষে তাহা থাকে না)। নাতিশীতোষ্ণ (temperate) অঞ্চলের উদ্ভিদের ক্ষেত্রে গ্রীষ্মকালে যখন প্রস্বেদন সর্বাপেক্ষা অধিক তখন তাহাদের মূলজ চাপ দেখা যায় না।

(গ) **কৈশিকতা** (Capillarity) ঃ পৃষ্ঠটানের (surface tension) ফলে জল সূক্ষ্ম কৈশিক নলের মাধ্যমে অধিক উচ্চে উন্নত হয়। 0·01 মিমি. ব্যাসের কাঁচ নলে কৈশিকতার ফলে 3 মিটার পর্যন্ত জল উঠিতে পারে। স্যাকস্ (Sachs) প্রভৃতি বৈজ্ঞানিকদের মতে জলের এই কৈশিকতার ফলে জাইলেম রসের উৎস্রোত ঘটে। ব্যক্তবীজী উদ্ভিদের ট্র্যাকাইডের ব্যাস 0·01 মি.মি.-এর কম এবং বাহিকার ব্যাস 0·2 মিমি. হওয়ায় উচ্চ ব্যক্তবীজী উদ্ভিদের ক্ষেত্রে কৈশিকতার ফলে জল উচ্চে পরিবাহিত হইতে পারে না। অধিকাংশ উচ্চ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে কৈশিকতা জল পরিবহণে বিশেষ কার্যকর নয়। অপরপক্ষে, অধিকাংশ ব্যক্তবীজী উদ্ভিদে জাইলেম বাহিকা অনুপস্থিত হওয়ায় তাহাদের ক্ষেত্রে কৈশিক পদ্ধতিটির কার্যকরিতা সুস্পষ্ট নয়।

(ঘ) **ক্ষীণ বায়বীয় চাপ** (Reduced atmospheric pressure) ঃ একাধিক বৈজ্ঞানিকদের মতে উদ্ভিদ কাণ্ডের ক্ষীণ বায়বীয় চাপ জল পরিবহণের জন্য দায়ী। তাঁহাদের মতে ব্যারোমিটারের তরল যে ভাবে উত্থিত হয়, ক্ষীণ বায়বীয় চাপ সেই ভাবে কাণ্ডে জল পরিবাহিত করে। জাইলেম বাহিকায় কখনও কখনও গ্যাস ক্ষীণ চাপে বর্তমান থাকে। কিন্তু এই চাপ শূন্য (0) হইলেও জল 10 মিটারের অধিক ঊর্ধ্বে উত্থিত হইতে পারে না। সুতরাং উচ্চ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে এই ক্ষীণ বায়বীয় চাপ জল পরিবহণের জন্য দায়ী নয়।

(ঙ) **সম ও অসম-সংযোগ জনিত বল ও প্রস্বেদন** (Cohesion-adhe-

sion force and transpiration) ঃ প্রস্বেদনের ফলে পত্রের প্যারেন্কাইমা (মেসোফিল) কোষ হইতে জলের বাষ্পীভবন ঘটে। জল নির্গমনের ফলে কোষের প্রোটোপ্লাস্ম-গহ্বর ও কোষ-প্রাচীর মাধ্যমে জলের চলাচল হয়। জল নির্গমনের ফলে পত্র-কোষের অভিস্রবণীয় চাপের বৃদ্ধি ঘটে ফলে স্বল্প অভিস্রবণীয় চাপ বিশিষ্ট সন্নিহিত কোষ হইতে জলের চলাচল ঘটে। এই ভাবে ক্রমশঃ অভিস্রবণীয় বিভবের সৃষ্টি হয়। এই অভিস্রবণীয় বিভবের ফলে জাইলেম হইতে জল প্রান্তীয় প্যারেন্কাইমা কোষে চলাচল করে।

জল অণুগুলির সমসংযোগ জনিত বলে (cohesive force) পরস্পর আকৃষ্ট হইয়া থাকে এবং এই আকর্ষণের ফলে জলস্তম্ভটি (water column) একটি প্রসারণসাধ্য টানের (tensile strain) সৃষ্টি হয়। অপরপক্ষে, জল অণু ও বাহিকা অণুর মধ্যে অসমসংযোগ বলে (adhesive force) জাইলেমের জল-স্তম্ভটি টানের ফলেও বিচ্ছিন্ন হয় না। সুতরাং প্রস্বেদনের ফলে জল নির্গমনে যে টানের সৃষ্টি হর তাহার ফলে জাইলেম বাহিকা বরাবর জল ঊর্দ্ধে উত্থিত হয়।

ডিক্সন ও জলি (Dixon and Joly) 1894 খৃষ্টাব্দে সর্বপ্রথম জল-উৎস্রোতের উপরোক্ত ব্যাখ্যাটি দেন। পরবর্তীকালে 1914 খৃষ্টাব্দে ডিক্সন (Dixon) জাইলেম রসের প্রসারণ সাধ্য টানের কথা উল্লেখ করেন। তাঁহার মতে ইলেক্স অ্যাকুইফলিয়াম *(Ilex aquifolium)* নামক উদ্ভিদের জাইলেম রসের প্রসারণ সাধ্য টানের পরিমাণ 133-207 বার* পর্য্যন্ত লক্ষ্য করেন। তাত্ত্বিক মতানুসারে (theoretically) এক বার (অ্যাটমোস্ফিয়ার) চাপে জল 10 মি. পর্যন্ত উঠিতে পারে। সুতরাং 100 মি. সুদীর্ঘ উচ্চ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে জল উত্তোলনে 10 বার (অ্যাটমোস্ফিয়ার) প্রয়োজন।

জল পরিবহণে সমসংযোগজনিত বল তথ্যটি একাধিক বৈজ্ঞানিক সমালোচনা করিয়াছেন। প্রেস্টন (Preston) 1952 খৃষ্টাব্দে উল্লেখ করেন যে, জাইলেম বাহিকায় জল সর্বদা অবিচ্ছিন্ন টানে না থাকিয়া বায়ু এবং জলবাষ্প দ্বারা বিচ্ছিন্ন থাকে। পোস্টলরোয়েট ও রোজার্স (Postlethwait and Rogers) 1958 খৃষ্টাব্দে তেজস্ক্রিয় ফসফরাস ^{32}P দ্বারা প্রমাণ করেন যে,

* লুমিস (Loomis), সান্তামেরিয়া (Santamaria) এবং গ্যাগির (Gagy) মতে এই টানের পরিমাণ 25-300 বার পর্যন্ত হইতে পারে

জল বায়ু বা জলবাষ্প দ্বারা বিচ্ছিন্ন থাকিলেও জাইলেম রসের উৎস্রোত সাধারণ ভাবে ঘটিয়া থাকে।

সমসংযোগজনিত বল তথ্যটি সম্পূর্ণ ভৌতিক পদ্ধতি হইলেও প্রস্বেদনকারী সজীবকোষে এই পদ্ধতিটি কার্যকর। কুর্টজম্যান (Kurtzman) 1966 খৃষ্টাব্দে লক্ষ্য করেন যে, বিপাক প্রতিরোধকারী এবং পিকরিক অ্যাসিড ও মারকিউরিক ক্লোরাইড প্রভৃতি বিষবৎ পদার্থের প্রয়োগে জাইলেম রস উৎস্রোতের কোন পরিবর্তন ঘটে না।

সমসংযোগজনিত বলটি অতীব সমালোচিত হইলেও উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদের জল পরিবহণে ইহাই একমাত্র যথেষ্ট ব্যাখ্যা মূলক তত্ত্ব।

ত্রয়োদশ অধ্যায়

অন্তঃকোষীয় পরিবহণ

(Transport across membrane)

জীবদেহের কোষ-পর্দা (cell membrane) জৈব, অজৈব ও গ্যাসীয় পদার্থের প্রবেশ ও নির্গমন নিয়ন্ত্রণ করে। কোষে বিভিন্ন পদার্থের এই বিনিময় জীবদেহ রক্ষণের জন্য বিশেষ প্রয়োজনীয়। জীবকোষে এই বিনিময় একটি সক্রিয় পদ্ধতি।

জীবকোষে অন্তঃকোষীয় পরিবহণে কখনই জলীয় পরিবেশের সহিত পূর্ণ সমতা রক্ষা করে না। কোষের নিউক্লিয়াস, মাইটোকন্ড্রিয়া, এণ্ডোপ্লাসমিক রেটিকিউলাম, গল্‌গি বডি, লাইসোসোম প্রভৃতি কোষস্থ-অঙ্গ একে অন্য হইতে এবং সাইটোপ্লাস্‌মের পদার্থ হইতে পর্দা দ্বারা পৃথক থাকে। কোষস্থ-পর্দাগুলি প্লাস্‌মা পর্দার ন্যায় **নির্বাচক ভেদ্যতা** (selective premeability) সম্পন্ন।

জীবকোষের কোষ-পর্দার মাধ্যমে বিভিন্ন পদার্থের চলাচল তাহাদের ঘনত্বের নতিমাত্রার (concentration gradient) উপর নির্ভরশীল অর্থাৎ কোষাভ্যন্তরের ঘনত্ব বহিঃস্থ ঘনত্ব অপেক্ষা স্বল্প হইলে পদার্থের অন্তর্মুখী চলাচল পরিলক্ষিত হয়। উপরোক্ত পদ্ধতি কখনও কখনও সঠিক হইলেও পদার্থের চলাচল ঘনত্ব নতিমাত্রার বিপক্ষেও (against concentration gradient) ঘটিয়া থাকে। পরবর্তী ক্ষেত্রে শক্তি সরবরাহের প্রয়োজন হয়।

এই অধ্যায়ে কোষ-পর্দার ভেদ্যতা ও কোষের পরিবহণ সম্বন্ধে আলোচিত হইয়াছে।

কোষ-পর্দার গঠন (Structure of cell membrane): উদ্ভিদ-কোষে বিভিন্ন উপাদানগুলির চলাচল প্রধানতঃ কোষস্থ শক্তির সাহায্যে সংঘটিত হয় বলিয়া ইহাদের সক্রিয় পরিবহণ বলে। সক্রিয় পরিবহণ যে বিশেষ কতকগুলি পর্দার মাধ্যমে সম্পাদিত হয় তাহাকে **কোষ-পর্দা** (cellular membrane) বলা হয়। কোষ-পর্দা সাধারণ ভাবে প্লাস্‌মা পর্দা (সাইটোপ্লাসমকে বহিঃস্থ

পরিবেশ হইতে পৃথক করে) এবং টোনোপ্লাস্টকেই [সাইটোপ্লাস্‌মকে গহ্বর (vocuole) হইতে পৃথক করে] কোষস্থ-পর্দারূপে কল্পনা করা হইয়া থাকে, যদিও নিউক্লিয়াস, ক্লোরোপ্লাস্ট, মাইটোকন্ড্রিয়া প্রভৃতিও পর্দা পরিবৃত।

বৈজ্ঞানিকদের নানাবিধ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণত হইয়াছে যে, কোষ-পর্দা লিপিড ও প্রোটীন স্তর দ্বারা গঠিত। X-রশ্মি বিচ্ছুরণ (X-ray diffraction) ও সমবর্তিত আলোকের (polarised light) পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, প্রোটীন কোষ-পর্দায় সমান্তরাল ভাবে (parallel) এবং লিপিড অরীয় (radially) ভাবে অবস্থিত। উপরোক্ত ব্যাখ্যার উপর ভিত্তি করিয়া ড্যাভসন ও ড্যানিয়েলি (Davson and Danielli) 1954 খৃষ্টাব্দে কোষ-পর্দার গঠন কল্পনা করেন। তাঁহাদের মতে দুইটি লিপিড স্তরের অণুগুলির হাইড্রোকার্বন শৃঙ্খল নিজেদের দিকে ও মেরু বর্গগুলি উভয় দিকে অবস্থিত। এই লিপিড স্তর দুইটি উভয় দিকে প্রোটীন স্তর দ্বারা স্থাপিত (sandwitched)। ড্যাভসন ও ড্যানিয়েলির মতানুসারে রবার্টসন (Robertson) 1959 খৃষ্টাব্দে "একক পর্দা" (unit membrane) তথ্যটি উপস্থাপিত করেন। অর্থাৎ কোষ-পর্দা উভয় দিকে প্রোটীনস্তর দ্বারা স্থাপিত লিপিড স্তর বিশেষ (চিত্র-5)। রবার্টসনের মতে, ইলেক্‌ট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে কোষপর্দা ইলেক্‌ট্রন ঘন ও ইলেক্‌ট্রন স্বচ্ছ এই দুইটি অংশ প্রতীয়মান হয়। ইলেক্‌ট্রন ঘন অংশ দুইটি প্রোটীন এবং স্বচ্ছ অংশটি লিপিড সমন্বিত। প্রোটীন স্তরগুলি 20A* এবং লিপিড স্তরটি 35-50A সমন্বিত। সুতরাং সমগ্র কোষ-পর্দা সাধারণতঃ 75-90A পুরু।

বর্তমানে কোষ-পর্দার একাধিক গঠন জানা গেলেও রবার্টসনের "একক পর্দা" তথ্যটি বহুল প্রচলিত।

সাধারণ ভাবে কোষ-পর্দা উদ্ভিদকোষ ও বহিঃস্থ মাধ্যমের মধ্যে আয়ণ ও অণুর চলাচলকে নিয়ন্ত্রণ করে। প্রথমতঃ কোষ-পর্দা প্রতিবন্ধকের (barrier) কার্য করে এবং অতঃপর পদার্থের অন্তঃপ্রবাহ (influx) এবং নির্গমনকে (efflux) নিয়ন্ত্রণ করে। বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত যে, সমস্ত আণবিক আয়তন সম্পন্ন ইলেক্‌ট্রোলাইট (electrolyte), নন-ইলেক্‌ট্রোলাইট (non-electrolyte) অপেক্ষা ধীর গতিতে কোষে প্রবেশ করে ; অপরপক্ষে দুর্বল ইলেক্‌ট্রোলাইট শক্তিশালী ইলেক্‌ট্রোলাইট অপেক্ষা দ্রুত কোষে প্রবেশ

* $1A = 10^{-8}$ cm

করে। দুর্বল ইলেক্‌ট্রোলাইটের ভেদ্যতা তাহাদের আয়ণীকৃত মানের উপর নির্ভর করে। pH বৃদ্ধির ফলে আয়ণীকৃত মানের পরিবর্তন হয় বলিয়া, pH-এর সহিত ইলেক্‌ট্রোলাইট প্রবেশের সম্পর্ক রহিয়াছে।

আয়ণীকৃত যৌগের ভেদ্যতা তাড়িৎ আধানের উপর নির্ভর করে। মনোভ্যালেন্ট আয়ণগুলি (K^+, Na^+/I^-, Cl^-), ডাইভ্যালেন্ট (Ca^{++}, $Mg^{++}/So_4^{=}$) আয়ণ অপেক্ষা অধিক দ্রুত প্রবেশ করে। অপরপক্ষে, একই যোজ্যতা (valency) বিশিষ্ট যৌগ একই হারে প্রবেশ করে না। অ্যালুমিনিয়ামের পটাশিয়াম অপেক্ষা, পটাশিয়ামের সোডিয়াম অপেক্ষা আবার সোডিয়ামের লিথিয়াম অপেক্ষা অধিক দ্রুত প্রবেশ ক্ষমতা রহিয়াছে।

কোষ-পর্দা মাধ্যমে আয়ণ অপেক্ষা বিনা আধানপ্রাপ্ত পদার্থের প্রবেশ দ্রুত হয় বলিয়া কোষ-পর্দাকে আধানপ্রাপ্ত বলিয়া বিবেচনা করা হয়। আয়ণগুলি ধনাত্মক আধানপ্রাপ্ত (+) স্থান এবং ক্যাটায়নগুলি ঋণাত্মক আধানপ্রাপ্ত (−) স্থান মাধ্যমে প্রবেশ করে। কোষ-পর্দা আপাত দৃষ্টিতে ঋণাত্মক ও ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট হইলেও সামগ্রিক ভাবে ইহা ঋণাত্মক আধান বিশিষ্ট। সুতরাং ক্যাটায়ন অপেক্ষা অ্যানায়ন দ্রুত গতিতে প্রবেশ করিতে পারে। কোষমধ্যে বহিঃস্থ ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের প্রবেশ কোষমধ্যস্থ অ্যানায়ন ও ক্যাটায়নের বিনিময়ে সংঘটিত হয়। বিপাকীয় পদ্ধতি হইতে উৎপাদিত হাইড্রোজেন আয়ণ (H^+) বহিঃস্থ ক্যাটায়নের সহিত বিনিময় করে এবং বাইকার্বনেট আয়ণ অ্যানায়নের সহিত বিনিময় ঘটাইয়া প্রবেশ করে। কোষমধ্যে সঞ্চিত আয়ণের আধিক্য না থাকিলে উপরোক্ত প্রথায় আয়ণের বিনিময় ঘটে, অপরপক্ষে, কোষমধ্যে আয়ণের অধিক সঞ্চয় ঘটিলে আয়ণের প্রবেশ সক্রিয় পদ্ধতিতে সম্পাদিত হয়।

লবণ বিরোধিতা (Salt antagonism) : লবণ পরিবেশে কোষ-পর্দার ভেদ্যতা বিভিন্ন লবণের উপস্থিতির উপর নির্ভরশীল। ওস্টারহাউট (Osterhout) 1922 খৃষ্টাব্দে প্লাস্‌মা পর্দার মাধ্যমে কোষে লবণ প্রবেশের বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, কোষ হইতে আয়ণ নির্গমনের ফলে তাড়িৎ প্রতিবন্ধের দ্বারা (electrical resistance) হ্রাস পায়। কোষের এই

তাড়িৎ পরিবাহিতা (electrical conductivity) আয়ণ প্রবেশের সূচকরূপে ব্যবহার করিয়া তিনি কোষ-পর্দার ভেদ্যতা প্রমাণ করেন। *Laminaria* নামক শৈবালের কোষকে সমুদ্র জলের সমসারক (isotonic) সম্পন্ন সোডিয়াম ক্লোরাইড (NaCl) দ্রবণে নিমজ্জিত করিলে তাহাদের তাড়িৎ প্রতিবন্ধের হ্রাস পায় ফলে ভেদ্যতা বৃদ্ধি পায়। পুনরায় সমুদ্র জলের সমসারক সম্পন্ন ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড ($CaCl_2$) দ্রবণে নিমজ্জিত করিলে প্রাথমিক অবস্থায় ভেদ্যতা হ্রাস পাইলেও অতঃপর ভেদ্যতা বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। অনুরূপভাবে ম্যাগনেশিয়াম ক্লোরাইড ($MgCl_2$) ও পটাশিয়াম ক্লোরাইড (KCl), ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড ও সোডিয়াম ক্লোরাইডের ন্যায় ব্যবহার হয়। অপর-পক্ষে, সমুদ্র জলের সমানুপাতিক সোডিয়াম ও ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড সমসারক মিশ্রণে কোষকে নিমজ্জিত করিলে তাহাদের স্বাভাবিক ভেদ্যতা পরিলক্ষিত হয় এবং কোষের কোন ক্ষতি হয় না। সুতরাং এক্ষেত্রে ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড সোডিয়ামের "বিষাক্ত" প্রভাবে বিরোধিতা (antagonize) করে। অপরপক্ষে, পটাশিয়াম বা সোডিয়াম আয়ণ ক্যালসিয়ামের "বিষাক্ত" প্রভাবকে বিরোধিতা করে। সুতরাং **লবণ বিরোধিতা** (salt antagonism) প্লাস্মা পর্দার স্বাভাবিক ভেদ্যতা রক্ষা করিয়া থাকে।

উপরোক্ত প্লাস্মা পর্দার ভেদ্যতা ক্যাটায়নের ক্ষেত্রেই পরিলক্ষিত হয়। বর্তমানে লবণ ভেদ্যতার নানাবিধ তথ্য জানা গেলেও সমগ্র বিষয়টি একটি জটিল পদ্ধতি। লবণ ভেদ্যতার নানাবিধ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, পর্যায় সরণীতে (periodic table) আয়ণগুলি যত স্বল্প সম্পর্কিত তাহারা তত অধিক বিরোধিতায় কার্যকর। পর্যায় সরণীতে সোডিয়াম ও পটাশিয়াম অধিক সম্পর্কিত বলিয়া সোডিয়াম পটাশিয়ামের ন্যায় কার্যকর, কিন্তু ক্যালসিয়ামের ক্ষেত্রে বিশেষ কার্যকর নয়। লবণ বিরোধিতায় আয়ণগুলির স্বল্প পরিমাণ প্রয়োজন হয়।

সুতরাং সমুদ্র জলের সমঘনত্ব সম্পন্ন সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণে কোন সামুদ্রিক উদ্ভিদ বা প্রাণীকে রাখিলে তাহাদের মৃত্যু ঘটে। কিন্তু ঐ দ্রবণে ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম মিশ্রিত করিলে সামুদ্রিক উদ্ভিদ বা প্রাণী সাধারণ ভাবে বাঁচিয়া থাকে। সমুদ্রের জলে একাধিক লবণ দ্রবণ মিশ্রিত থাকায়,

একক দ্রবণের বিষবৎ ক্রিয়াকে বিরোধিতা করে এবং উদ্ভিদ ও প্রাণী সাধারণ ভাবে বাঁচিতে পারে। উদ্ভিদ বৃদ্ধির পক্ষে এই জাতীয় দ্রবণকে **সুষম দ্রবণ** (balanced solution) বলা হয়।

নিষ্ক্রিয় শোষণ (Passive absorption) : সুক্রোজ প্রভৃতি অ-আধানিত (uncharged) অণুর কোষ পর্দার মাধ্যমে চলাচল ঘনত্বের পার্থক্যের দ্বারা চালিত হয় অর্থাৎ এক্ষেত্রে অণুর চলাচল পর্দার দুই পার্শ্বের রাসায়নিক বিভবের (chemical potential) উপর নির্ভরশীল। দ্রাবের রাসায়নিক বিভব বাহির অপেক্ষা কোষমধ্যে অধিক হইলে অণুর চলাচল অন্তর্মুখী হইয়া থাকে। এই চলাচলকে **নিষ্ক্রিয় পরিবহণ** (passive transport) বলা হয়।

কোষের কোন একটি কোষস্থ-অঙ্গ হইতে অপর কোষস্থ-অঙ্গে অথবা একটি কোষ হইতে অপর কোষে নিষ্ক্রিয় পরিবহণ সম্পন্ন হয়। উদাহরণস্বরূপ, সালোকসংশ্লেষের ফলে উদ্ভিদ-পত্রে সুক্রোজ প্রস্তুত হয় এবং ঐ কোষগুলি অধিক রাসায়নিক বিভব সম্পন্ন। সুতরাং এক্ষেত্রে সুক্রোজ অতি সহজেই নিষ্ক্রিয় পরিবহণে স্বল্প রাসায়নিক বিভব সম্পন্ন পার্শ্ববর্তী কোষে স্থানান্তরিত হইয়া সীভ্ নলে প্রবেশ করে।

কোষ-পর্দা দ্রাবে ভেদ্য হইলে নিষ্ক্রিয় পরিবহণের ফলে কোষ-পর্দার উভয় দিকের রাসায়নিক বিভব সমান হয়।

নিষ্ক্রিয় বা অবিপাকীয় পরিবহণ 1957 খৃষ্টাব্দে ব্রিগ্স্ ও রবার্টসন (Briggs and Robertson) সহ একাধিক বৈজ্ঞানিক প্রস্তাব করেন। উদ্ভিদ-কোষ বা কলাকে লঘু লবণ ঘনত্বের পরিবেশ হইতে গাঢ় লবণ ঘনত্ব পরিবেশে স্থাপন করিলে বিপাকীয় শক্তি ছাড়াই আয়নের দ্রুত শোষণ পরিলক্ষিত হয়। উপরোক্ত কোষ বা কলাকে পুনরায় লঘু লবণ দ্রবণে স্থাপন করিলে বহিঃস্থ মাধ্যমে আয়নের নির্গমন ঘটে। বস্তুতঃপক্ষে, কোষ বা কলাকে লবণ দ্রবণে নিমজ্জিত করিলে আয়নের মুক্ত ব্যাপন (free diffusion) ঘটে এবং সাম্যাবস্থায় উপনীত হয়। উদ্ভিদকোষে আয়নের নিষ্ক্রিয় সঞ্চয় ঘনত্ব নতিমাত্রার বিরুদ্ধে (against a concentration gradient) ঘটিয়া থাকে। উপরোক্ত নিষ্ক্রিয় সঞ্চয় আয়ণ বিনিময় (ion exchange) অথবা ডোনান সাম্যাবস্থা (Donnan equilibrium) দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়।

আয়ন বিনিময় (Ion exchange) : উদ্ভিদকোষকে লবণ দ্রবণে

নিমজ্জিত করিলে কোষাভ্যন্তরের আয়ণের সহিত বাহিরের আয়ণের বিনিময় ঘটে। উদাহরণস্বরূপ, কোষ মধ্যস্থ হাইড্রোজেন আয়ণ (H^+)-এর সহিত বহিঃস্থ পটাশিয়াম আয়ণের (K^+) বিনিময় ঘটে। একইভাবে অ্যানায়নের সহিত হাইড্রক্সিল আয়ণের বিনিময় ঘটে। সুতরাং আয়ণ বিনিময় পদ্ধতি দ্বারা বহিঃস্থ মাধ্যম হইতে আয়ণের অধিক শোষণ এবং নতিমাত্রার বিরুদ্ধে আয়ণের নিষ্ক্রিয় সঞ্চয় পরিলক্ষিত হয়।

ডোনান সাম্যাবস্থা (Donnan equilibrium) : কোষের স্বাভাবিক কার্যকারিতা অভিস্রবণীয় নতিমাত্রা (gradient) ব্যতীত তাড়িৎ-রাসায়নিক নতিমাত্রার উপরেও নির্ভরশীল। কোষ-পর্দা মাধ্যমে আয়ণের চলাচল তাড়িৎ-রাসায়নিক নতিমাত্রার উপর নির্ভরশীল। কোষ-পর্দায় আয়ণের অপ্রতিসম উপস্থিতি ডোনান সাম্যাবস্থার দ্বারা নির্ণীত হয়। ডোনান নকশা অনুযায়ী একটি কোষের অভ্যন্তরে অব্যাপ্ত আয়ণের উপস্থিতিতে ঋণাত্মক (−) আধানপ্রাপ্ত হয়। উপরোক্ত কোষকে KCl দ্রবণে নিমজ্জিত করিলে কোষে তাড়িৎ-রাসায়ন নতিমাত্রার ফলে K^+ আয়ণ কোষাভ্যন্তরে প্রবেশ করিবে। ঘনত্ব নতিমাত্রায় Cl^- আয়ণ কোষাভ্যন্তরে প্রবেশ করিলেও তাড়িৎ-নতিমাত্রায় কোষের বাহিরে Cl^--এর নির্গমন ঘটে। সুতরাং সাম্যাবস্থায় কোষাভ্যন্তরে K^+-এর অধিক ঘনত্ব পরিলক্ষিত হইলেও Cl^--এর ঘনত্ব বাহিরের ঘনত্ব অপেক্ষা স্বল্প থাকে। ডোনানের মতানুসারে কোষ-পর্দায় ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের সমষ্টি কোষাভ্যন্তরে ক্যাটায়ন ও আনায়ন সমষ্টির সমান। অর্থাৎ

$$\underset{\text{অন্ত}}{[K^+]}\,\underset{\text{অন্ত}}{[Cl^-]} = \underset{\text{বহিঃ}}{[K^+]}\,\underset{\text{বহিঃ}}{[Cl^-]} \quad \text{বা} \quad \frac{\underset{\text{বহিঃ}}{[K^+]}}{\underset{\text{অন্ত}}{[K^+]}} = \frac{\underset{\text{অন্ত}}{[Cl^-]}}{\underset{\text{বহিঃ}}{[Cl^-]}}$$

প্রোটীনে বৃহদাণু সমন্বিত অব্যাপ্ত অ্যানায়ন থাকিলেও পর্দামাধ্যমে ইলেক্ট্রোলাইটের (ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের) চলাচল ব্যাহত হয় না।

ডোনানের উপরোক্ত সাম্যাবস্থা উদ্ভিদ ও প্রাণীকোষে অবাধ প্রয়োগ হইলেও, ব্যাপ্ত ও অব্যাপ্ত নানাবিধ অ্যানায়ন ও ক্যাটায়ন বর্তমান থাকায় এবং পর্দা মাধ্যমে ইহাদের চলাচল ভিন্ন হওয়ায় উপরোক্ত সমীকরণটির প্রয়োগ অতীব জটিল।

সক্রিয় শোষণ (Active absorption)**ঃ** কোষ-পর্দার মাধ্যমে ঘনত্ব নতিমাত্রার বিপক্ষে (against a conc. gradient) পদার্থের চলাচল ব্যাপন প্রক্রিয়ায় সম্পাদিত হয় না। ঘনত্ব নতিমাত্রার অথবা তাড়িৎ-রাসায়নিক নতিমাত্রার বিপক্ষে পদার্থের চলাচল শক্তির মাধ্যমে সম্পাদিত হয়। শক্তির সাহায্যে কোষ-পর্দার মাধ্যমে পদার্থের চলাচলকে **সক্রিয় পরিবহণ** (active transport) বলা হয়।

ঘনত্ব নতিমাত্রার বিপক্ষে পদার্থের চলাচল সক্রিয় পরিবহণ হইলেও সমস্ত সক্রিয় পরিবহণই ঘনত্ব নতিমাত্রার বিপক্ষে ঘটে না। কোন পদার্থ অভিস্রবণে সক্রিয় (osmotically active) হইলে তাহাদের চলাচল ঘনত্ব নতিমাত্রার বিপক্ষে ঘটে।

কোষের বিভিন্ন বিপাকীয় পদ্ধতিতে উদ্ভূত শক্তি সক্রিয় পরিবহণে কার্যকর। শ্বসন-প্রতিরোধক সায়ানাইড (cyanide) প্রয়োগে এবং অক্সিজেন ও উষ্ণতা হ্রাসে সক্রিয় পরিবহণ বিশেষভাবে বাধাপ্রাপ্ত হয়। সুতরাং সক্রিয় পরিবহণে শ্বসনের ভূমিকা বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়।

হোগল্যাণ্ড ও ডেভিস (Hoagland and Davis) 1929 খৃষ্টাব্দে নিটেলা (*Nitella*) এবং ভ্যালনিয়া (*Valonia*) নামক শৈবালে ঘনত্ব নতিমাত্রার বিপক্ষে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের চলাচল ও সঞ্চয়ের বিশদ্ ব্যাখ্যা দেন। তাঁহাদের মতে যে জলে কোষটিকে নিমজ্জিত করা হইয়াছে সেই জলের ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের পরিমাণ অপেক্ষা (*Nitella*) কোষে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের পরিমাণ আধিক্য পরিলক্ষিত হয় (তালিকা-16)।

সুতরাং কোষ নিমজ্জিত জলের ঘনত্ব হইতে অধিক ঘনত্ব স্থানে (কোষমধ্যে) আয়ণের চলাচল ও সঞ্চয় নিম্নরূপ ঃ

$$\text{অধিক ঘনত্ব} \underset{\text{সক্রিয় পরিবহণ}}{\overset{\text{ব্যাপন}}{\rightleftharpoons}} \text{স্বল্প ঘনত্ব}$$

সক্রিয় পরিবহণের একাধিক পদ্ধতি জানা থাকিলেও কোন সর্বসম্মত পদ্ধতি জানা যায় নাই। সমস্ত পদ্ধতিই কোষ পর্দায় অবস্থিত **বাহক** (carrier) যৌগের মাধ্যমে সম্পাদিত হইলেও বাহক যৌগের প্রকৃতি সম্বন্ধে বৈজ্ঞানিকেরা ভিন্ন ভিন্ন মত পোষন করেন। আয়ণ পরিবহণের বাহক

তালিকা 16 : *Nitella* শৈবাল কোষের গহ্বর-রসে ও নিমজ্জিত জলে আয়ণের পরিমাণ

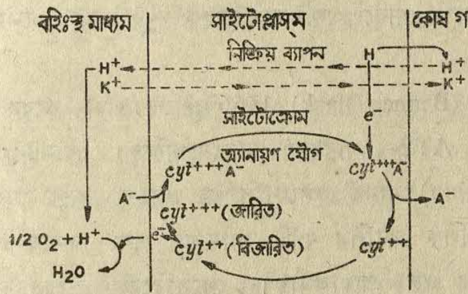
আয়ণ	গহ্বর-রসের ঘনত্ব mg/lit	নিমজ্জিত জলের ঘনত্ব mg/lit	আয়ণ	গহ্বর-রসের ঘনত্ব mg/lit	নিমজ্জিত জলের ঘনত্ব mg/lit
K^+	49·3	0·51	Cl^-	101·1	1·0
Na^+	49·9	1·2	$SO_4^=$	13·0	0·67
Ca^{++}	13·0	1·3	$H_2PO_4^=$	1·7	0·008
Mg^{++}	10·8	3·0			
	123·0			115·8	

পদ্ধতিটি 1937 খৃষ্টাব্দে ভ্যান ডার হণার্ট (Van der Honert) সর্বপ্রথম উপস্থাপিত করেন। বাহক অণুর ধারণা অনুসারে, কোষের বাহক অণুগুলি আয়ণের সহিত যুক্ত হইয়া **বাহক-আয়ণ যৌগ** (carrier-ion-complex) সৃষ্টি করে। এই যৌগটি কোষের বহিঃস্থ স্থান হইতে অন্তঃস্থ স্থানে স্থানান্তরিত হয়। অন্তঃস্থ স্থানে আয়ণগুলি যুক্ত হয় এবং এই আয়ণগুলি পুনরায় বাহির হইতে না পারায় কোষ মধ্যে সঞ্চিত হয়।

1952 খৃষ্টাব্দে গোল্ডেকার (Goldacre) বাহক যৌগকে প্রোটীন রূপে আখ্যা দেন। এই বিশেষ সঙ্কোচক (contractile) প্রোটীনটি কোষ-পর্দার সহিত যুক্ত থাকে। উপরোক্ত প্রোটীনের কুণ্ডলী খোলার (uncoiling) ফলে তাহাদের আন্তঃ আণবিক বন্ধনী (intra molecular bonds) নষ্ট হয় এবং বহিঃস্থ অণু বা আয়ণের পৃষ্ঠলগ্নের (adsorption) ফলে তাহাদের বন্ধনীর অভাব দূর হয়। পুনরায় প্রোটীনের সঙ্কোচনের ফলে তাহাদের উপরোক্ত বন্ধনী পুনঃস্থাপিত হয় ফলে পৃষ্ঠলগ্নীভূত আয়ণ বা অণু সাইটোপ্লাসমে মুক্ত হয়।

লুণ্ডেগার্ড (Lundegardh) 1954 খৃষ্টাব্দে আয়ণ চলাচলে বাহক পদ্ধতির পূর্ণ ব্যাখ্যা দেন। তাঁর মতে কোন উদ্ভিদকে জল হইতে লবণ দ্রবণে স্থানান্তরিত করিলে শ্বসনের হার বৃদ্ধি পায়। সাধারণ শ্বসন অপেক্ষা বর্দ্ধিত শ্বসনকে **লবণ শ্বসন** (salt respiration) বা **অ্যানায়ন শ্বসন** (anion respiration) বলা হয়। অ্যানায়ন শোষণের সহিত লবণ শ্বসনের পারস্পরিক

সম্বন্ধ পরিলক্ষিত হইলেও ক্যাটায়নের সহিত শ্বসনের কোন সম্পর্ক পরিলক্ষিত হয় না। সুতরাং তাহাদের মতে অ্যানায়ন সক্রিয় ভাবে পরিবাহিত হয়। সায়ানাইড (cyanide) বা কার্বন মনোক্সাইড প্রভৃতি শ্বসন-প্রতিবোধক যৌগের উপস্থিতিতে অ্যানায়ন শোষণ ব্যাহত হওয়ায় সাইটোক্রোমকে (cytochrome) অ্যানায়ন বাহকরূপে কল্পনা করা হয়। লুণ্ডেগার্ডের ব্যাখ্যাটি নিম্নোক্ত চিত্রে-68 দেখানো হইল।



চিত্র-68 : লুণ্ডেগার্ডের মতানুসারে আয়ণ শোষণের ছক।

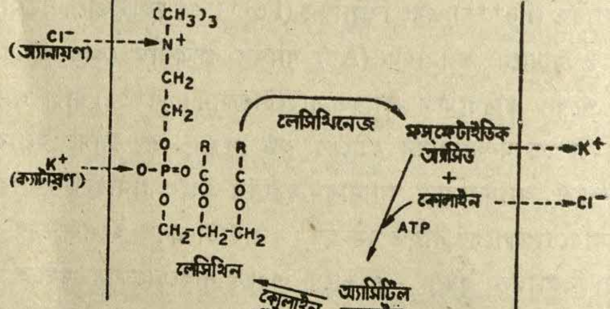
লুণ্ডেগার্ডের মতানুসারে সাইটোক্রোম নামক লৌহ পরফাইরিন যৌগ (iron porphyrin complex) কোষে বাহক অণুর কার্য করে। সাইটোক্রোম কোষে জারিত (Fe^{+++}) এবং বিজারিত (Fe^{++}) এই দুইটি ভাবে বর্তমান।

বহিঃস্থ মাধ্যমে অ্যানায়ন (A^-) ব্যাপন প্রক্রিয়ায় কোষ পর্দার রন্ধ্রের মাধ্যমে প্রবেশ করিবামাত্র জারিত সাইটোক্রোম (cyt^{+++}) দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং সাইটোক্রোম-অ্যানায়ন যৌগের সৃষ্টি করে। এই যৌগটি ইলেকট্রনের (e^-) সংস্পর্শে আসিবামাত্র অ্যানায়ন মুক্ত হয় এবং অ্যানায়নটি অপর একটি জারিত সাইটোক্রোমের সহিত যুক্ত হয়। সাইটোক্রোম ইলেকট্রনের সহিত যুক্ত হইয়া বিজারিত হয়। এইভাবে একটি সাইটোক্রোম হইতে অপর সাইটোক্রোমের মাধ্যমে অ্যানায়ন অন্তঃস্থ মাধ্যমের (কোষ-গহ্বরের) দিকে চালিত হয়। কোষের অন্তঃস্থ মাধ্যমে ডিহাইড্রোজিনেজ বিক্রিয়ার ফলে হাইড্রোজেন বিশ্লিষ্ট হইয়া প্রোটন (H^+) ও ইলেকট্রন (e^-) মুক্ত পায়। এই ইলেকট্রনই উপরোক্ত প্রক্রিয়ায় ইলেকট্রন উৎসের কার্য করে। বিজারিত

সাইটোক্রোম অক্সিজেনের উপস্থিতিতে বহিঃস্থ মাধ্যমে ইলেক্ট্রন মুক্ত হইয়া পুনরায় জারিত হয়। সুতরাং অক্সিজেনের উপস্থিতিতে বিজারিত সাইটোক্রোম জারিত হয়। তাই আয়ন-শোষণের সহিত শ্বসনের পারস্পরিক সম্পর্ক পরিলক্ষিত হয়।

লুণ্ডেগার্ডের তত্ত্বটি আয়ন-শোষণের পূর্ণব্যাখ্যা প্রকাশ করিলেও এই তত্ত্বটি বৈজ্ঞানিকদের বিতর্কের বিষয়। তাঁদের মতে অ্যানায়ন ব্যতীত সোডিয়াম (Na^+) বা পটাশিয়াম (K^+) শোষণ কালেও শ্বসনের বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। অপরপক্ষে, অ্যানায়ন শোষণে একটি মাত্র বাহক অণুর তত্ত্বটি অনেকের নিকট ঠিক নয়।

বেনেট-ক্লার্ক (Bennet-Clark) 1956 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, আয়ণ-শোষণের সহিত ATP-র ব্যবহার আন্তঃসম্পর্কিত। বেনেট-ক্লার্কের মতে লেসেথিন (lecithin) নামক ফসফোলিপিড বাহক অণুর কার্য করে। লেসেথিনের মৌলিক কোলিন বর্গটি অ্যানায়ন এবং ফসফোটাইড বর্গটি ক্যাটায়ন বন্ধনের জন্য প্রয়োজনীয়। লেসেথিনেজ উৎসেচকটি অন্তঃস্থ মাধ্যমে লেসেথিনকে বিশ্লিষ্ট করায় অ্যানায়ন ও ক্যাটায়ন মুক্ত পায় এবং কোষ-গহ্বরে সঞ্চিত হয়। বহিঃস্থ মাধ্যমে ATP ও উৎসেচকের উপস্থিতিতে লেসেথিন বাহক অণুটি পুনরায় প্রস্তুত হয় (চিত্র-69)।



চিত্র-69 : বেনেট-ক্লার্কের মতানুসারে আয়ণ শোষণ পদ্ধতি।

উদ্ভিদের বিভিন্ন বিপাকীয় কার্য যেমন একাধিক বহিঃস্থ ও অন্তঃস্থ

পরিবেশের উপর নির্ভর করে, লবণ-শোষণও একাধিক বহিঃস্থ ও অন্তঃস্থ পরিবেশের উপর নির্ভরশীল। উষ্ণতা, pH, আলোক, অক্সিজেন প্রভৃতি পারিপার্শ্বিক পরিবেশ আয়ণ শোষণে বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে। বিভিন্ন আয়ণের মিথস্ক্রিয়তার (interaction) ফলে আয়ণ শোষণ নির্ভরশীল। বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা বৈজ্ঞানিকেরা প্রমাণ করেন যে, বার্লিমূলে পটাশিয়ামের শোষণ, ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম প্রভৃতি আয়ণের উপস্থিতির উপর নির্ভরশীল। ক্যালসিয়াম ও পটাশিয়াম ব্যতীত ব্রোমাইড আয়ণও শোষণে কার্যকর। ক্যালসিয়ামের উপস্থিতিতে ম্যাগনেশিয়ামের শোষণ অনেকাংশে ব্যাহত হয়।

পটাশিয়াম, রুবিডিয়াম ও সিসিয়াম প্রভৃতি আয়ণ একই বন্ধনী স্থানে যুক্ত হওয়ায় প্রতিযোগী (compete) রূপে কার্য করে। অপরপক্ষে, সোডিয়াম ও লিথিয়াম বিভিন্ন বন্ধনী স্থানে যুক্ত হওয়ায় অপ্রতিযোগী (non competitive) রূপে কার্য করে।

বাহক অণুর বন্ধনী স্থানের বৈশিষ্ট্য ও উপস্থিতির উপরও আয়ণ শোষণ নির্ভরশীল।

চতুর্দশ অধ্যায়

দ্রাবের পরিবহণ

(Translocation of Solutes)

সমস্ত উদ্ভিদ কার্বন-ঘটিত দ্রাবের সরবরাহের জন্য সালোকসংশ্লেষকারী সবুজ পাতার উপর নির্ভরশীল। অপরপক্ষে, উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদে সালোক-সংশ্লেষকারী কোষ এবং অন্যান্য সজীব কোষ কমবেশী অধিক দূরত্বে অবস্থিত। উদ্ভিদের মূল ও পাতা অধিক দূরত্বে অবস্থিত থাকায় একটি দ্রুত ও কার্যকর পরিবহণ তন্ত্রের প্রয়োজনীয়তা আছে। উদ্ভিদের সাধারণ কোষ বিপাকের জন্য এই দ্রুত পরিবহণ ফ্লোয়েমের সীভ্ নল (sieve tube) নামক কোষের মাধ্যমে সংঘটিত হইয়া থাকে। ফ্লোয়েমের এই উপাদানগুলি উদ্ভিদের সমস্ত অংশের সহিত একটি জালের ন্যায় গঠন সৃষ্টি করে। এই জালিকাকার গঠনের ফলে উদ্ভিদের সমস্ত জীবিত কোষের সহিত একটি সংযোগ স্থাপিত হয়। এই অধ্যায়ে দ্রাবের পরিবহণ ও তাহাদের সম্ভাব্য পদ্ধতি সম্বন্ধে আলোচিত হইয়াছে।

দ্রাব পরিবহণের প্রথম সঠিক তথ্য 1837 খৃষ্টাব্দে হার্টিগ (Hartig) উপলব্ধি করেন। তিনি সর্বপ্রথম উদ্ভিদের ফ্লোয়েম উপাদানে সীভ্ নলের কথা উল্লেখ করেন। তিনি 1860 খৃষ্টাব্দে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, উদ্ভিদের বল্কল (bark) অপসারণ করিলে রসের ক্ষরণ (exudation of sap) ঘটিয়া থাকে। উদ্ভিদের ক্ষরিত বস্তু পাতার নিম্নগামী দ্রাব প্রবাহের সহিত সম্পর্কিত। বহুদিন পর্যন্ত হার্টিগের এই তথ্যগুলি সমর্থিত হয় নাই। অতঃপর 1930 খৃষ্টাব্দে কাণ্ডের 'পরিবেষ্টন' (ringing), জোড় কলম (grafting) এবং পত্র মোচনের (shading of foliage) প্রভৃতি বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা তাঁহার তথ্যগুলি সমর্থিত হয়।

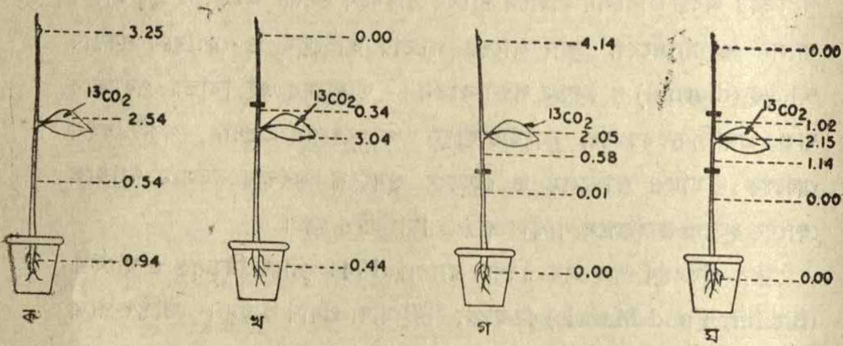
ফ্লোয়েম পরিবহণের প্রমান (Evidences of phloem transport) : ম্যাসন এবং ম্যাসকেল (Mason and Maskell) 1928 খৃষ্টাব্দে তুলা গাছের (*Gossypium barbadense*) কাণ্ডের ফ্লোয়েমকে বলয়াকারে অপসারণ

করিয়া বলয়ের উপরে ও নিচের জাইলেম ও ফ্লোয়েম রস পরীক্ষা করেন। বলয়ের নিচ অপেক্ষা উপরের জাইলেম ও ফ্লোয়েমে অধিক শর্করা সঞ্চয় পর্যবেক্ষণ করেন। তাহাদের এই পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, ফ্লোয়েম অপসারণের ফলেই দ্রাবের নিম্নগামী পরিবহণ ব্যাহত হয়। তাঁহাদের এই পরীক্ষায় অবশ্য জাইলেম মাধ্যমে দ্রাবের পরিবহণ তথ্যটি অনস্বীকৃত হয় নাই। ম্যাসৃন ও ম্যাসকেল তুলা গাছের পাতায় জাইলেম ও ফ্লোয়েমে শর্করার আহ্নিক (diurnal) পরিবর্তন লক্ষ্য করেন। তাঁহাদের এই বিভিন্ন পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, কার্বোহাইড্রেট পরিবহণের প্রধান পথটি হইল ফ্লোয়েম। যদিও জাইলেম ও ফ্লোয়েম সুসংবদ্ধ অবস্থায় বর্তমান থাকিলে ফ্লোয়েম হইতে জাইলেমে পার্শ্বীয় পরিবহণ সংঘটিত হয়।

দ্রাব-পরিবহণ অঞ্চলের বিশদ্ ব্যাখ্যা 1944 খৃষ্টাব্দে বিডুল্ফ ও মার্কেল (Biddulph and Markle) তেজস্ক্রিয় ^{32}P দ্বারা প্রমাণ করেন। উদ্ভিদ-পত্রে ^{32}P অনুপ্রবেশ করাইয়া সেই পত্রের নিম্নাংশের জাইলেম ও ফ্লোয়েম রসে তেজস্ক্রিয় ^{32}P-র উপস্থিতি লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে, অধিকাংশ তেজস্ক্রিয় ^{2}P ফ্লোয়েম অংশে পরিলক্ষিত হয়। তাঁহাদের এই পরীক্ষায় সামান্য পার্শ্বীয় পরিবহণও পরিলক্ষিত হয়।

1965 খৃষ্টাব্দে র্যাবিডু ও বার (Rabideau and Burr) তেজস্ক্রিয় নির্দেশক (radioactive tracer) ব্যবহার করিয়া একটি উন্নত মানের পরীক্ষা করেন। তাঁহারা একটি পত্র-সমন্বিত বীন (*Phaseolus*) উদ্ভিদকে $^{13}CO_2$-এর উপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষ করান এবং ঐ তেজস্ক্রিয় পদার্থের চলাচল নির্ণয় করেন (চিত্র-70)। তেজস্ক্রিয় $^{13}CO_2$ অনুপ্রবেশের পূর্বে তাঁহারা পত্রের উর্দ্ধে, নিম্নে ও উভয় স্থানে কাণ্ডের ফ্লোয়েমকে উষ্ণ (100°C) মোম প্রয়োগ করিয়া ফ্লোয়েম কোষকে মৃত ও ফ্লোয়েম পথের যাতায়াতকে অবরোধ (block) করান। যে সমস্ত উদ্ভিদের ফ্লোয়েম পথকে অবরোধ করান হয় নাই (চিত্র-70ক) সেক্ষেত্রে ^{13}C-সমন্বিত আত্মীকৃত (assimilates) পদার্থ উপরের দিকে উদ্ভিদের সক্রিয় বর্দ্ধিষ্ণু অঞ্চলে এবং সামান্য পরিমাণ নিম্নাংশে পরিবাহিত হয়। কিন্তু যেক্ষেত্রে পত্রের নিম্নাংশে ফ্লোয়েম পথকে অবরোধ (চিত্র-70গ) করা হইয়াছে সেক্ষেত্রে তেজস্ক্রিয় পদার্থের চলাচল উপরের দিকে এবং যেক্ষেত্রে পত্রের উর্দ্ধে ফ্লোয়েমের পথকে অবরোধ করা হইয়াছে

(চিত্র-70খ) সেক্ষেত্রে উদ্ভিদের নিম্নাংশে তেজস্ক্রিয় পদার্থের চলাচল পরিলক্ষিত হয়। পত্রের ঊর্দ্ধ ও নিম্নে উভয় স্থানে ফ্লোয়েম অংশ অবরোধ করায় (চিত্র-70ঘ) কাণ্ডের কোন অংশে তেজস্ক্রিয় পদার্থের চলাচল হয় না।



চিত্র-70 : বীন উদ্ভিদ-পত্রে বলয়াকারে ফ্লোয়েম অপসারণ করিয়া ^{13}C আত্মীকৃত পদার্থের চলাচল নির্ণয়। 'ক' চিহ্নিত চিত্রে ফ্লোয়েম অপসারণ করা হয় নাই। 'খ' চিত্রে ফ্লোয়েমকে পত্রের উর্দ্ধে ও 'গ' চিত্রে পত্রের নিম্নে এবং 'ঘ' চিত্রে উভয় স্থানে ফ্লোয়েম অপসারণ করা হইয়াছে। পার্শ্বের আঙ্কিত চিহ্নগুলি ^{13}C-এর পরিমাণ $\frac{\text{ভর } 45}{\text{ভর } 44} \times 100$ চিহ্নিত করে।

উপরোক্ত বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, উদ্ভিদের ফ্লোয়েম অংশই দ্রাবের পরিবহণের জন্য দায়ী এবং ফ্লোয়েমের সীভ্ নল মাধ্যমেই এই দ্রাবের চলাচল সংঘটিত হয়। বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা এক প্রকার পরাশ্রয়ী পতঙ্গের (aphids) সাহায্যে ফ্লোয়েম পরিবহণের সঠিক তথ্য প্রমাণ করেন। এই সমস্ত পরাশ্রয়ী পতঙ্গ তাহাদের মুখের স্টাইলেট (stylet) অংশ সীভ্ নলে প্রবেশ করাইয়া উদ্ভিদ দেহের দ্রাব শোষণ করে। শোষিত অবস্থায় পতঙ্গটিকে কার্বন মনোক্সাইড গাসে নিঃস্তেজ (anesthetised) করাইয়া পতঙ্গটিকে কর্তন করা হয়। পরে তাহার স্টাইলেট অংশটি সীভ্ নলে প্রোথিত অবস্থায় পাওয়া যায়।

ফ্লোয়েম পরিবহণের গতিপথ (Direction of phloem transport) : উপরোক্ত বিভিন্ন পরীক্ষা হইতে ইহা প্রমাণিত হইয়াছে যে, উদ্ভিদে জৈব যৌগের পরিবহণ **দ্বিগতিপথ অভিমুখী** (bidirectional) অর্থাৎ কাণ্ডের মাধ্যমে বিভিন্ন জৈব যৌগ বিপরীত মুখে যুগপৎ চলাচল করিয়া থাকে। উদ্ভিদ-পত্রের অঙ্গারীকৃত পদার্থ মূল ও বর্দ্ধিষ্ণু অঞ্চলে (যে স্থানে পুষ্প ও ফল পরিস্ফুরণ হয়) চলাচল করে। স্ফীত কন্দ ও কন্দ-সম্পন্ন উদ্ভিদের সঞ্চিত অঙ্গ হইতে উদ্ভিদ বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় খাদ্য ঊর্দ্ধ মুখে পরিবাহিত হয়। বার্দ্ধক্য প্রাপ্ত (aging) পত্র হইতে বর্দ্ধিষ্ণু অঞ্চলের পত্রে জৈব যৌগের পরিবহণও ঊর্দ্ধমুখী। বিডুল্ফ ও কোরী (Biddulph and Cory) 1965 খৃষ্টাব্দে তেজস্ক্রিয় ^{14}C দ্বারা প্রমাণ করেন যে, বীন গাছের *(Phaseolus)* মূলের নিকটস্থ পত্র হইতে অঙ্গারীকৃত যৌগ নিম্নে মূলে, উর্দ্ধে অবস্থিত পত্র হইতে উর্দ্ধে বর্দ্ধিষ্ণু অঞ্চলে এবং কাণ্ডের মাঝামাঝি স্থানে অবস্থিত পত্র হইতে জৈব যৌগগুলি ঊর্দ্ধ ও নিম্নে পরিবাহিত হয়।

জৈব যৌগের পরিবহণ কাণ্ডে উভয় দিকে যুগপৎ ঘটিলেও, এই যুগপৎ পরিবহণ একই ফ্লোয়েম নালী অথবা বিভিন্ন সীভ্ নলের মাধ্যমে সংঘটিত হয় কিনা তাহা নিশ্চিত জানা যায় নাই।

উদ্ভিদের বিভিন্ন আত্মীকৃত যৌগের পার্শ্বীয় পরিবহণ (lateral transport) সম্বন্ধেও বৈজ্ঞানিকেরা প্রায় সবাই একমত পোষণ করেন।

উদ্ভিদের বিভিন্ন আত্মীকৃত যৌগের পরিবহণ-বেগ ও তাহার হার তেজস্ক্রিয় ^{14}C প্রয়োগ করিয়া নির্ণীত হইয়াছে। আত্মীকৃত পদার্থের পরিবহণ-হার স্কোয়াস ও আখ গাছে* সর্বাপেক্ষা দ্রুত (270-290 cm/hr)। লাউ, কুমড়া ও বীটের ক্ষেত্রে পরিবহণ হার 50-100 cm/hr। উদ্ভিদের ক্ষেত্রে বিভিন্ন বিপাকীয় পদার্থ বিভিন্ন হারে পরিবাহিত হয়। ট্রিটিয়াম-জল** ^{32}P এবং ^{14}C-সুক্রোজ প্রভৃতি তেজস্ক্রিয় পদার্থের দ্বারা পরীক্ষা করিয়া

* আখের ক্ষেত্রে হার্ট ও সহকর্মীরা (Hartt *et al* 1963 খৃষ্টাব্দে পরিবহণ হার 84 cm/hr এবং হ্যাচ ও গ্ল্যাসজিউ (Hatch and Glaszion) 1964 খৃষ্টাব্দে এই হার 270 cm/hr বলিয়া মনে করেন।

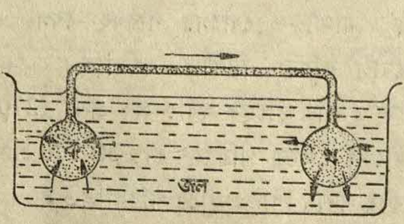
** তেজস্ক্রিয় জলকে ট্রিটিয়াম জল (THO) বলা হয়। এক্ষেত্রে জলের একটি বা উভয় হাইড্রোজেন পরমাণুই ট্রিটিয়াম (3H) আইসোটোপ দ্বারা প্রস্তুত হয়।

বিডুল্ফ ও কোরী (Biddulph and Cory) 1957 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, তেজস্ক্রিয় ফসফেট (^{32}P) ও তেজস্ক্রিয় জল (ট্রিটিয়াম জল) অপেক্ষা তেজস্ক্রিয় সুক্রোজ দ্রুত হারে পরিবাহিত হয়। সুক্রোজের পরিবহণ হার 107 cm/hr ; অপরপক্ষে ^{32}P এবং তেজস্ক্রিয় জলের ক্ষেত্রে পরিবহণ হার 87 cm/hr। গেজ ও আরনফ (Gage and Aronoff) 1960 খৃষ্টাব্দে উপরোক্ত পরীক্ষাগুলি সম্পূর্ণরূপে সমর্থন করেন।

ফ্লোয়েম পরিবহণ পদ্ধতি (Mechanism of phloem transport) : ফ্লোয়েম পরিবহণ পদ্ধতিটি একটি বিতর্কের বিষয়। বর্তমানে ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে ফ্লোয়েমের গঠন এবং ভাইরাস, পতঙ্গ ও তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ প্রভৃতি নানাবিধ পরীক্ষা দ্বারা ফ্লোয়েম পরিবহণ পদ্ধতির নানাবিধ যুক্তিসঙ্গত ব্যাখ্যা করা হইয়াছে। ফ্লোয়েম পরিবহণের বিভিন্ন প্রকল্পগুলি নিম্নে আলোচিত হইয়াছে।

(ক) **পুঞ্জীভূত প্রবাহ প্রকল্প** (Mass flow hypothesis) : এই প্রকল্পটি 1860 খৃষ্টাব্দে হার্টিগ (Hartig) প্রথম উপস্থাপিত করিলেও প্রকল্পটির বৈজ্ঞানিক ব্যাখ্যা 1930 খৃষ্টাব্দে মুঞ্চ (Munch) প্রকাশ করেন।

মুঞ্চের শারীরবৃত্তীয় পদ্ধতিটি একটি নক্শার মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা যায়। জলভেদ্য পর্দা সমন্বিত দুইটি গোলক (চিত্র-71 ক ও খ) একটি কাঁচ নল দ্বারা যুক্ত। 'ক' চিহ্নিত গোলকটি অধিক অভিস্রবণীয় চাপ সমন্বিত দ্রবণ দ্বারা পূর্ণ

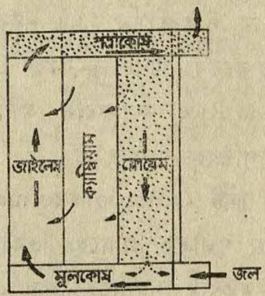


চিত্র-71 : পুঞ্জীভূত প্রবাহ প্রকল্পের ভৌতিক ব্যাখ্যা।

এবং 'খ' গোলকটি লঘু দ্রবণে পূর্ণ। এই সম্পূর্ণ ব্যবস্থাটি একটি জলপূর্ণ পাত্রে রাখিলে, 'ক' গোলকে অধিক অভিস্রবণীয় চাপ সম্পন্ন দ্রবণ থাকায় বাহিরের জল গোলকে প্রবেশ করিবে এবং স্ফীতি বা ঔদস্থিতি মূলক চাপের বৃদ্ধি ঘটে।

ইহার ফলে 'ক'-এর দ্রবণটি কাঁচের নলের মাধ্যমে 'খ' গোলকে প্রবাহিত হইবে। এই পদ্ধতিটি দুইটি গোলকের ঘনত্ব সমান হওয়া পর্যন্ত ঘটিয়া থাকে।

মূঞ্চের মতে সালোকসংশ্লেষের সময় উদ্ভিদ-পত্রে আত্মীকৃত যৌগ বিশেষ করিয়া সুক্রোজের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। সুক্রোজের পরিমাণ বৃদ্ধি হওয়ায় পার্শ্ববর্তী কোষ হইতে অভিস্রবণ পদ্ধতিতে জল প্রবেশ করে এবং ফলে কোষগুলিতে স্ফীতি বা ঔদস্থিতিমূলক চাপের বৃদ্ধি ঘটে। উদ্ভিদের এই সালোকসংশ্লেষকারী অংগকে "উৎস" (source) এবং ব্যবহৃত অংগকে "নর্দমা"



চিত্র-72 : মূঞ্চ প্রকল্প (Munch hypothesis) অনুযায়ী দ্রাবের পরিবহণ।
⟶জলের পরিবহণ ; ···→দ্রাবের পরিবহণ।

(sink) রূপে কল্পনা করা হয়। সুতরাং ঔদস্থিতিমূলক চাপের ব্যবধানের ফলে ফ্লোয়েমের মাধ্যমে "উৎস" হইতে "নর্দমা" অঞ্চলে দ্রাবের পুঞ্জীভূত প্রবাহ (mass flow) পরিলক্ষিত হয়।

কাণ্ডের ফ্লোয়েমকে কর্তন করিয়া কোষরসের ক্ষরণ দ্বারা পুঞ্জীভূত প্রবাহ প্রকল্পটিকে সমর্থন করা হয়। মূঞ্চ (Munch 1930), ডিক্সন (Dixon, 1933), হুবার (Huber, 1941) এবং ক্রাফ্‌টস্ (Crafts, 1936, 1939) কাষ্ঠল ও বীরুৎ জাতীয় উদ্ভিদের ক্ষেত্রে কোষরসের ক্ষরণ পর্যবেক্ষণ করেন।

মূঞ্চ প্রবর্তিত পুঞ্জীভূত প্রবাহ প্রকল্পটি "উৎস" ও "নর্দমা" স্থানের স্ফীতি চাপের ব্যবধানের সহিত অঙ্গাঙ্গীভাবে জড়িত। বেনেট (Bennett) 1937 খৃষ্টাব্দে এবং রোড়বগ্‌ ও রাইস (Rohrbaugh and Rice) 1949 খৃষ্টাব্দে সালোকসংশ্লেষকারী পত্রে আলোকের উপস্থিতিতে ভাইরাস অথবা 2, 4-D

(2, 4-dichlorophenoxy acetic acid) প্রভৃতি বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রক প্রয়োগ করিয়া আত্মীকৃত যৌগের সহিত ফ্লোয়েমের মাধ্যমে তাহাদের পরিবহণ লক্ষ্য করেন। অন্ধকারে ভাইরাস অথবা বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রকের পরিবহণ পরিলক্ষিত হয় না। অন্ধকারে উপরোক্ত যৌগগুলিকে শর্করার সহিত মিশ্রিত করিয়া প্রয়োগ করিলে স্ফীতি চাপের ব্যবধান ঘটে, ফলে শর্করার সহিত ভাইরাস ও বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রকের পরিবহণ ঘটে।

দ্রাব পরিবহণে শর্করার উপস্থিতি বিশেষ ভাবে প্রয়োজনীয়। পুঞ্জীভূত প্রবাহের প্রাথমিক স্তরে "সক্রিয়" পরিবহণ ঘটে, ফলে বিপাকীয় ATP অণুর প্রয়োজন হয়। দ্রাব পরিবহণের সময় শর্করা হইতে শ্বসনের মাধ্যমে প্রয়োজনীয় ATP সংগ্রহ করে। উপরোক্ত কারণ 1956 খৃষ্টাব্দে রোড়বগ্ ও রাইস (Rohrbaugh and Rice) ফস্ফরাস অভাবজনিত উদ্ভিদে ^{14}C-চিহ্নিত 2, 4-D যৌগের পরিবহণ ব্যাহত হয়।

পুঞ্জীভুত প্রবাহের ত্রুটি (Objections to mass flow hypothesis): প্রতিপক্ষীয় বৈজ্ঞানিকেরা পুঞ্জীভূত প্রবাহের একাধিক ত্রুটি লক্ষ্য করেন। পুঞ্জীভূত প্রবাহের মূল মতবাদ অনুসারে উৎস কোষের দ্রবণ সর্বদা অধিক স্ফীতি চাপ সম্পন্ন হয়। কিন্তু কার্টিস ও স্কোফিল্ড (Curtis and Schofield) 1933 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, এই মতবাদ সর্বদা সঠিক নয় কারণ অনেক ক্ষেত্রে উৎস কোষে স্বল্প অভিস্রবণীয় চাপ পরিলক্ষিত হয়।

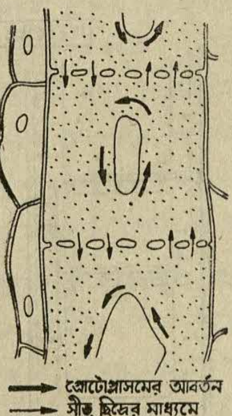
মুঞ্চ তাঁহার মূল তত্ত্বে সীভ্ নলগুলিকে নিষ্ক্রিয় ও মৃত বলিয়া মনে করেন এবং দ্রাব পরিবহণে সীভ্ নলের প্রোটোপ্লাস্ট কোন সক্রিয় অংশ গ্রহণ করে না। কিন্তু পরবর্তীকালে ইহা প্রমাণিত হইয়াছে যে, দ্রাব পরিবহণে বিপাকীয় শক্তির প্রয়োজন। অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে অথবা পটাশিয়াম সায়ানাইড (KCN) বা 2, 4-ডাইনাট্রোফিনল (DNP) প্রভৃতি শ্বসন-প্রতিরোধী যৌগের উপস্থিতিতে ফ্লোয়েমের পরিবহণ ব্যাহত হয়।

পামকুইস্ট (Palmquist) 1939 খৃষ্টাব্দে পুঞ্জীভূত প্রবাহের সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ ত্রুটি লিপিবদ্ধ করেন। তিনি বীন উদ্ভিদের যৌগিক পত্রে ফ্লুরোসিন (fluorescein) নামক রঞ্জক পদার্থ দ্বারা ফ্লোয়েমে দ্বিগতিপথ অভিমুখী (bidirectional) পরিবহণ লক্ষ্য করেন। বীন যৌগিক পত্রের শ্বেতসার বিহীন প্রান্তীয় পত্রকে ফ্লুরোসিন নামক রঞ্জক পদার্থ প্রয়োগ করিয়া

ফ্লোয়েমের মাধ্যমে রঞ্জক পদার্থের এবং শর্করার চলাচল লক্ষ্য করেন। সুতরাং একই উপাদানের মাধ্যমে দ্বিগতিপথ অভিমুখী পরিবহণ পুঞ্জীভূত প্রবাহের ক্রিয়াপ্রণালীর বিরোধিতা করে। চেন (Chen) 1951 খৃষ্টাব্দে জেরানিয়াম (*Geranium*) উদ্ভিদে ^{14}C এবং ^{32}P তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ প্রয়োগ করিয়া উভয় দিকে যুগপৎ চলাচল লক্ষ্য করেন।

মুঞ্চের তত্ত্বানুসারে ফ্লোয়েম পরিবহণ হারের সহিতও প্রকৃত দ্রবণ পরিবহণ হারের কোন সামঞ্জস্য পরিলক্ষিত হয় না।

(খ) **প্রোটোপ্লাস্‌ম প্রবাহ তত্ত্ব** (Streaming of Protoplasm theory) : উদ্ভিদকোষে প্রোটোপ্লাসমের আবর্তন (cyclosis) ঘটিয়া থাকে। ছ ভ্রিসের (de Vries) 1885, মতে প্রোটোপ্লাসমের এই আবর্তন ফ্লোয়েম পরিবহণের জন্য দায়ী। কার্টিস (Curties) 1929 খৃষ্টাব্দে ছ ভ্রিসের এই তথ্যটির বিশদ্ ব্যাখ্যা দেন। তাঁর মতে সীভ্ উপাদানের মাধ্যমে

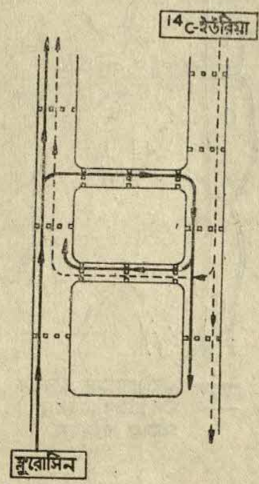


চিত্র-73 : ফ্লোয়েম (দ্রাবের) পরিবহণে প্রোটোপ্লাস্‌ম প্রবাহের ধারণা (কল্পিত)।

প্রোটোপ্লাসমসহ দ্রাবের প্রবাহ ঘটে এবং সীভ্ পাতের (sieve plate) প্রোটোপ্লাসমের মাধ্যমে একটি কোষ হইতে অন্য কোষে প্রোটোপ্লাস্‌ম রসের চলাচল সংঘটিত হয় (চিত্র-73)। পরিণত সীভ্ উপাদানে প্রোটোপ্লাস্‌ম

স্বল্প থাকায় প্রোটোপ্লাস্‌ম প্রবাহ হয় না সুতরাং এই তত্ত্ব অনুসারে একমাত্র সক্রিয় সাইটোপ্লাসমযুক্ত তরুণ ফ্লোয়েম উপাদানই পরিবহণে সক্ষম। প্রোটোপ্লাস্‌ম প্রবাহতত্ত্বে একই সীভ্‌নল মাধ্যমে দ্রবণের দ্বিগতিপথ অভিমুখী পরিবহণ পরিলক্ষিত হয়। উপরোক্ত পদ্ধতির প্রধান প্রমাণস্বরূপ কোষের যুগপৎ দ্বিগতিপথ অভিমুখী চলাচল সম্বন্ধে উল্লেখ করা যাইতে পারে। পুঞ্জীভূত প্রবাহের তথ্যটি ব্যাখ্যার সময় পামকুইস্ট ও চেন (Palmquist, 1939 ; Chen, 1951) দ্বিগতিপথ অভিমুখী চলাচলের উল্লেখ করিলেও একই সীভ্‌ নলে এই ধরণের চলাচল পরিলক্ষিত হয় না।

একই সীভ্‌নলে দ্বিগতিপথ অভিমুখী চলাচল এসকেরিস (Eschrich) 1967 খৃষ্টাব্দে তেজস্ক্রিয় উপাদানদ্বারা প্রমাণ করেন। সিম উদ্ভিদের (*Vicia faba*) অগ্রপত্রে ল্যানোলিন লেই-এর (lanoline paste) সহিত ^{14}C-ইউরিয়া ও নিম্নপ্রান্তে ফ্লুরোসিন রঞ্জক পদার্থ প্রয়োগ করেন। দুইটি পত্রের



চিত্র-74 : একই সীভ্‌নলে এস্‌কেরিস (Eschrich) প্রমাণিত পার্শ্বীয় এবং ফাঁসের ন্যায় (loop) দ্বিগতিপথ সংক্রান্ত চলাচল।

মধ্যবর্তী কাণ্ডে একপ্রকার পতঙ্গ বসবাস করিতে দেওয়া হয়। এই পতঙ্গ (aphids) স্টাইলেটের সাহায্যে সীভ্‌নলের প্রোটোপ্লাস্‌ম রস গ্রহণ করিয়া

পরাশ্রয়ীরূপে বসবাস করে। এই পতঙ্গের মধুরস (honey dew) পরীক্ষা করিলে তেজস্ক্রিয় ^{14}C এবং ফ্লুরোসিন উভয়ই পরিলক্ষিত হয় এবং নিশ্চিত প্রমাণিত হয় যে, সীভ্ নল মাধ্যমে উভয় পদার্থের দ্বিগতিপথ অভিমুখী চলাচল হয় (চিত্র-74)।

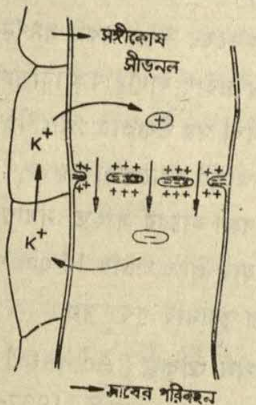
প্রোটোপ্লাস্ম প্রবাহতত্ত্বের অপর একটি সমর্থনযোগ্য ব্যাখ্যাটি হইল যে, এই প্রবাহ প্রোটোপ্লাস্ম প্রবাহ বাধাদায়ক বিভিন্ন পরিবেশে বাধাপ্রাপ্ত হয়। অক্সিজেনের অভাবে অথবা স্বল্প উষ্ণতায় প্রোটোপ্লাস্ম প্রবাহ বাধাপ্রাপ্ত হয়।

প্রোটোপ্লাস্ম প্রবাহতত্ত্বের সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ ত্রুটি হইল যে, প্রোটোপ্লাস্ম প্রবাহের হার দ্রাব পরিবহণ হারের সহিত সমানুপাতিক নয়। 20-25°C-তে প্রোটোপ্লাস্ম প্রবাহের হার প্রতি ঘণ্টায় 15 cm পরিলক্ষিত হয়। এই হার ফ্লোয়েম পরিবহণ হারের তুলনায় খুবই স্বল্প।

(গ) **সক্রিয় ব্যাপন প্রকল্প** (Activated diffusion hypothesis) : প্রোটোপ্লাসমের সক্রির ব্যাপন প্রকল্পটি 1937 খৃষ্টাব্দে ম্যাসন ও ফিলিস (Mason and Phillis) ব্যাখ্যা করেন। তাঁহাদের মতে কোষ সাইটোপ্লাস্ম ব্যাপ্ত অণুকে সক্রিয় করিয়া অথবা প্রোটোপ্লাস্ম অংশে ব্যাপন পদ্ধতি বাধাদানকে হ্রাস করিয়া ব্যাপন পদ্ধতিটিকে ত্বরান্বিত করে। সাইটোপ্লাসমের সক্রিয়তার জন্য শ্বসন উদ্ভূত শক্তির প্রয়োজন হয়। বৈজ্ঞানিকদের মতে সীভ্ নলে বিপাকীয় কার্যের জন্য দায়ী কোষস্থ-অঙ্গের অভাব পরিলক্ষিত হয়।

(ঘ) **তাড়িৎ-অভিস্রবণ ও পুঞ্জীভূত প্রবাহ প্রকল্প** (Electro-osmosis and mass flow hypothesis) : পূর্বোক্ত পুঞ্জীভূত প্রবাহ তত্ত্বের দুইটি গুরুত্বপূর্ণ ত্রুটি হইল যে, প্রথমতঃ ফ্লোয়েম কলা উচ্চ শারীরবৃত্তীয় কার্যে সক্রিয় হইলেও ইহা একটি সম্পূর্ণ অ-শারীরবৃত্তীয় অংশরূপে পরিগণিত। দ্বিতীয়তঃ সভ্ নলের মাধ্যমে পরিবহণ অধিক স্ফীতি চাপের সহিত সম্পর্কিত। 1958 খৃষ্টাব্দে স্প্যানার (Spanner) প্রবর্তিত তাড়িৎ-অভিস্রবণ (electro-osmosis) প্রকল্প দ্বারা উপরোক্ত ত্রুটির সঠিক উত্তর পাওয়া যায়। স্প্যানারের মতে ফ্লোয়েম উপাদানে দুইটি পুঞ্জীভূত প্রবাহ অংশ গ্রহণ করে। প্রথমোক্ত প্রবাহটি সম্পূর্ণ যান্ত্রিক এবং সীভ্ উপাদানের গহ্বরে প্রবাহিত হয় এবং অপরটি সীভ্ পাতের ছিদ্রে তাড়িৎ-অভিস্রবণের ফলে পুঞ্জীভূত প্রবাহ ঘটে।

স্প্যানারের মতে সীভ্ পাত ছিদ্রের আয়ণের মেরু প্রবণতা হেতু (polarization) দ্রবণের তাড়িৎ-অভিস্রবণ প্রবাহ পরিলক্ষিত হয়। ফ্লোয়েমের সঙ্গীকোষের মাধ্যমে পটাশিয়াম আয়ণের (K^+) সঞ্চয়ের ফলে পর্দার বিভব



চিত্র-75 : সঙ্গীকোষ হইতে K^+-এর সঞ্চয়ের ফলে পর্দার বিভব বজায় থাকে এবং দ্রাবের চলাচল সংঘটিত হয়।

(membrane potential) বজায় থাকে এবং ফলে দ্রাবের পুঞ্জীভূত প্রবাহ সংঘটিত হয়। 1968 খৃষ্টাব্দে বাউলিং (Bowling) দ্রাক্ষার (*Vitis vinifera*) প্রাথমিক সীভ্ পাতে তাড়িৎ বিভবের ব্যতিক্রম লক্ষ্য করেন এবং স্প্যানারের উপরোক্ত ব্যাখ্যা সমর্থন করেন।

বিভাগ IV

পঞ্চদশ অধ্যায়

বৃদ্ধি ও অঙ্গসৃষ্টি

(Growth and Morphogenesis)

বৃদ্ধি জীবের একটি বিশেষ মৌলিক বৈশিষ্ট্য। বৃদ্ধির ফলে সজীব প্রোটোপ্লাসমের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। সুতরাং সমগ্র জীবের, অঙ্গের বা কোষের ভর, ওজন এবং আয়তনের অপরিবর্তনীয় (irreversible) অবস্থাকে **বৃদ্ধি** (growth) বলা হয়। বৃদ্ধির ফলে আয়তনের স্থায়ী বৃদ্ধি ঘটে। কোষের পরিবর্তনীয় জলস্ফীতি বলিয়া পরিগণিত হয় না, কিন্তু বর্দ্ধিষ্ণু কোষের আয়তন বৃদ্ধি জল প্রবেশের উপর নির্ভরশীল।

সজীব বস্তুর পরিমাণ বৃদ্ধির সঙ্গে জড়িত হইলেও জীবের কোষ সংখ্যার বৃদ্ধি দ্বারা বৃদ্ধির পরিমাপন করা হইয়া থাকে। এককোষী উদ্ভিদের উপনিবেশে (colony) একক কোষ সংখ্যা গণনা দ্বারাও সেই উপনিবেশের বৃদ্ধির পরিমাপন সম্ভব। বহুকোষী উদ্ভিদের ক্ষেত্রে কোষ সংখ্যা বৃদ্ধি দ্বারা বৃদ্ধি পরিমাপন অসুবিধাজনক। কোষ সংখ্যার বৃদ্ধির সহিত কোষের বৃদ্ধি ঘটে এবং আয়তন বৃদ্ধি পায়। মূল অথবা অশাখ (unbranched) কাণ্ডের ক্ষেত্রে লম্বা অথবা উচ্চতার বৃদ্ধি দ্বারা বৃদ্ধি পরিমাপন করা হইয়া থাকে। সমগ্র উদ্ভিদের বৃদ্ধি নতুন কলার বৃদ্ধির সঙ্গে জড়িত; তাই সমগ্র উদ্ভিদের শুষ্ক ওজনের (dry weight) পরিবর্তন দ্বারাও উদ্ভিদের পরিমাপন সম্ভব। উদ্ভিদের শুষ্ক ওজনের পরিবর্তন নুতন জৈব পদার্থের পরিমানের সহিত সম্পর্কযুক্ত। শুষ্ক ওজনের পরিবর্তনও সর্বদা উদ্ভিদ বৃদ্ধি পরিমাপনের ক্ষেত্রে সন্তোষজনক নয়; কারণ উদ্ভিদের শুষ্ক ওজনের পরিবর্তন অনেকাংশে শ্বেতসার বা চর্বি জাতীয় সঞ্চিত পদার্থের পুঞ্জীভবনের ফলে ঘটিয়া থাকে। অপরপক্ষে, বীজের অঙ্কুরোদ্গমনের সময় শ্বসনের ফলে সঞ্চিত বস্তুর ব্যবহারের ফলে শুষ্ক ওজনের হ্রাস পায় যদিও এক্ষেত্রে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ঘটে।

বৃদ্ধি ও বৃদ্ধি সংক্রান্ত আলোচনার পূর্বে কতিপয় শব্দের ব্যাখ্যা বিশেষ প্রয়োজন। একটি সমগ্র জীবের, অঙ্গের, কলা বা কোষের সমগ্র জীবনকালে

যে পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয় তাহাকে **বিকাশ** (development) বলা হয়। কোন জীবের জন্ম হইতে যৌনজনন পর্যন্ত অবস্থার পরিবর্তনের বহিঃপ্রকাশই অঙ্গের বিকাশ। একইভাবে কোন মৌলিক আদ্য কোষ (primordium) হইতে পাতা, কাণ্ড ও মূলের উদ্ভবও একশ্রেণীর বিকাশ।

উদ্ভিদের বিকাশের সহিত বৃদ্ধি ও **পরিস্ফুরণ** (differentiation) উভয়ই জড়িত। বিকাশের সময় যে মাত্রাগত (quantitative) পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয় তাহাই বৃদ্ধি রূপে পরিগণিত হয়। অপরপক্ষে, বিকাশের সময় কোষ, কলা বা অঙ্গের যে গুণগত (qualitative) পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয় তাহাকে **পরিস্ফুরণ** বলা হয়। এক কথায় ইহা কোন ভাজক কোষ হইতে এক বা একাধিক বিভিন্ন গুণসম্পন্ন কোষ, কলা বা অঙ্গের সৃষ্টি।

সুতরাং ইহা বলা যায় যে, বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণ বিকাশের দুইটি বিশেষ অঙ্গ। সাধারণতঃ বিকাশের সহিত বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণ সংঘটিত হইলেও ক্যালাস* (callus) কোষ বৃদ্ধির সময় কখনও কখনও পরিস্ফুরণ ব্যতীতই বৃদ্ধি ঘটে।

কোন প্রজাতির সহজাত শক্তি (genetic potentialities) বলিতে 'জিন'কে (gene) বুঝাইলেও সাইটোপ্লাসমের প্রভাবও উপেক্ষণীয় নয়। এক কথায় জিনে যে সমস্ত তথ্য (genetic information) সঞ্চিত থাকে তাহাই বিকাশের মাধ্যমে প্রকাশ পায়। কোন প্রজাতির সহজাত ক্ষমতা অন্তঃকোষ নিয়ন্ত্রিত (intracellular regulation)। জিন কার্যকারিতার নিয়ন্ত্রণ প্রতিলিখন (transcription) এবং ভাষান্তরের (translation) মাধ্যমে সংঘটিত হয় (বিশদ্ আলোচনা অষ্টম অধ্যায়ে)। উপরোক্ত দুইটি পর্যায়ে প্রোটীন তথা উৎসেচক সৃষ্টি ঘটিয়া থাকে। সুতরাং জিন কার্যকারিতার নিয়ন্ত্রণ মুখ্যতঃ উৎসেচক সৃষ্টির মাধ্যমে সম্পাদিত হয়।

বিকাশের শারীরবৃত্তীয় সমস্যাগুলিকে দুই ভাবে আলোচনা করা সম্ভব। প্রথমতঃ বৃদ্ধি ও বিকাশের নিয়ন্ত্রণকারী আভ্যন্তরীন প্রভাব হিসাবে উদ্ভিদ হরমোনের (phyto hormones) ভূমিকা এবং দ্বিতীয়তঃ পরিবেশের বাহ্যিক প্রভাব হিসাবে উষ্ণতা ও আলোকের ভূমিকা। উদ্ভিদের নিয়ন্ত্রণকারী হরমোনগুলি (অক্সিন, জিব্বেরেলীন ও সাইটোকাইনিন) জিনের কার্যকারিতাকে সক্রিয় করিতে সাহায্য করে। জেঙ্ক (Zenk) 1970 খৃষ্টাব্দে

* অবিভেদিত (undifferentiated) কোষকে "ক্যালাস" কোষ বলা হয়।

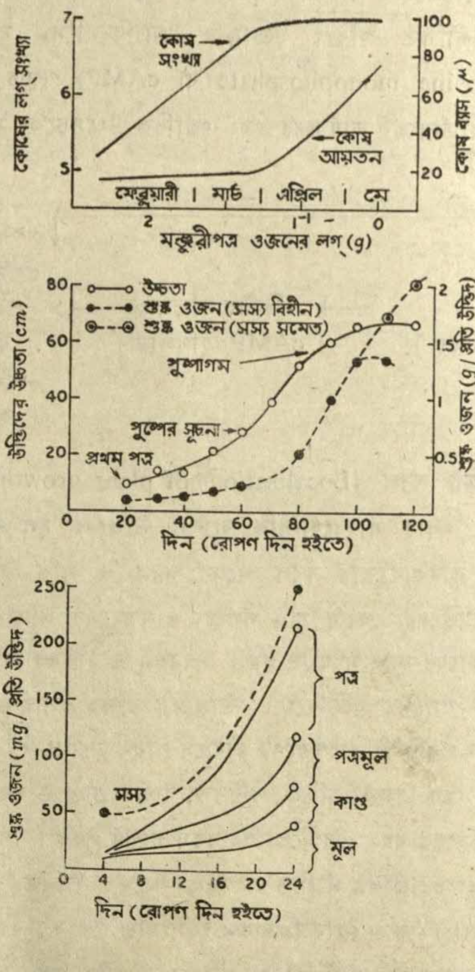
পরীক্ষা করেন যে, উদ্ভিদ হরমোনগুলি প্রাথমিক বার্তাবহের (primary messenger) কার্য করে। কোন কোন প্রাথমিক বার্তাবহ পদার্থগুলি (হরমোন) অ্যাডিনাইল সাইক্লেজ (adenyl cyclase) নামক উৎসেচকের কার্যকারিতা উদ্দীপিত করিয়া চক্রাকার অ্যাডিনোসিন মনোফসফেট† (cyclic adenosine monophosphate বা cAMP) প্রস্তুত করে। এই CAMP যৌগ বার্তাবহের কার্য করে এবং একাধিক উৎসেচকের সক্রিয়তা বৃদ্ধি করে।

হরমোন (প্রাথমিক বার্তাবহ) ⟶ দ্বিতীয় বার্তাবহ (cAMP, ইথিলীন) ⟶
→প্রতিলিখন
→ভাষান্তর
→উৎসেচকের কার্যকারিতা
→কোষ পর্দার কার্য ইত্যাদি

উদ্ভিদ বৃদ্ধির স্থান (Localization of plant growth): সপুষ্পক উদ্ভিদে ভাজক কলার সাহায্যে বৃদ্ধি ঘটে। উদ্ভিদের মূল ও কাণ্ডর অগ্রে ভাজক কলার কার্যকারীতার ফলে অঙ্গের গঠন ও বৃদ্ধি ঘটিয়া থাকে। একবীজপত্রী উদ্ভিদের ক্ষেত্রে বৃদ্ধি পর্বমধ্য ও পত্রমূলের অতিরিক্ত নিবেশিত ভাজক কলার কার্যের ফলে সংঘটিত হয়। সংবহন ও কর্ক ক্যাম্বিয়ামের কার্যের ফলে উদ্ভিদের ব্যাসের বৃদ্ধি ঘটে। উদ্ভিদের ভাজক কলার চতুপার্শ্বে নতুন কোষের সৃষ্টি এবং বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণের মাধ্যমে পরিপক্ক কোষের বিকাশ ঘটে। উদ্ভিদের বৃদ্ধির সময় ভাজক, বর্দ্ধিষ্ণু, পরিপক্ক, বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত ও মৃত কোষ সমষ্টি বিদ্যমান। উদ্ভিদের বয়স এবং কোষের বয়স সম্পূর্ণ পৃথক। শতায়ু উদ্ভিদের ক্ষেত্রেও কলাকোষের জীবন সীমিত। উদ্ভিদ-অঙ্গের সীমিত বৃদ্ধির (determinate growth) ক্ষেত্রে কোষ বিভাজন ও সামান্য কোষ বিস্তার (expansion) ঘটিলেও পরবর্তী পর্যায়ে কোষ বিভাজন না ঘটিয়া শুধুমাত্র কোষ বিস্তার সংঘটিত হয় (চিত্র-76)। কচুর মঞ্জরীপত্রে (spadix), টমেটো ফলে, সয়াবীনের পরিণত বীজপত্রে এই ধরণের বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। অগ্রস্থ ভাজক কলার কোষ বিভাজন অংশে কোষ বিভাজন ও কোষ বিস্তার অংশে কোষ

† ATP-র পাইরোফস্ফেট ভঙ্গ করিয়া cAMP প্রস্তুত হয়।

বিস্তার ঘটে। কোন কোন উদ্ভিদে কোষ বিভাজন ও কোষ বিস্তার পৃথকভাবে সম্পন্ন হয়।



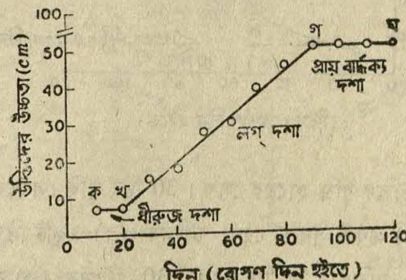
চিত্র-76 : প্রথম চিত্রে উদ্ভিদ মঞ্জুরী পত্রে প্রাইমরডিয়াল স্তরের বৃদ্ধিকালে কোষ আয়তন ও কোষ সংখ্যার সম্পর্ক দেখানো হইয়াছে। দ্বিতীয় চিত্রে উদ্ভিদ বৃদ্ধির সাধারণ লেখ। তৃতীয় (নিম্নের) চিত্রে উদ্ভিদের বিভিন্ন অংশের প্রথম স্তরের বৃদ্ধি (শুষ্ক ওজন হিসাবে) দেখনো হইয়াছে।

বৃদ্ধি রেখাচিত্র (Growth Curves) ঃ ধান, বার্লি প্রভৃতি উদ্ভিদের বৃদ্ধি রেখাচিত্রের সাধারণ লেখচিত্র চিত্র-76-এ বুঝানো হইল। বার্লি বীজ রোপনের 15 দিন পর প্রথম পত্র বিস্তারলাভ করে। প্রথম পত্র বিস্তার (অর্থাৎ 15 দিন পর) হইতে 90 দিন (অর্থাৎ 3/4 পত্র বিস্তার) পর্যন্ত উচ্চতার বৃদ্ধি ঘটে। পুষ্পোদ্গমের (flowering) ফলে বৃদ্ধি হ্রাস পায় এবং পুষ্পোদ্গমের 30 দিন পূর্বে পুষ্পারম্ভ (flower initiation) ঘটিয়া থাকে। পুষ্পারম্ভের পর কোন নতুন পত্র বিস্তার করে না।

উদ্ভিদের শুষ্ক ওজনের লেখ (চিত্র-76) উচ্চতা লেখের অনুরূপ, কেবল-মাত্র শুষ্ক ওজনের দ্রুত বৃদ্ধি পরবর্তী পর্যায়ে ঘটে। বীজ রোপনের 100 দিন পর্যন্ত শুষ্ক ওজনের হ্রাস পায়। সস্য সমেত শুষ্ক ওজনের বৃদ্ধি উদ্ভিদের বীজের বিকাশ ও পরিপক্কতা পর্যন্ত ঘটে।

উপরোক্ত বৃদ্ধির রেখাচিত্র হইতে উদ্ভিদের শুষ্ক ওজনের বৃদ্ধিতে মূল, কাণ্ড বা পত্রের ভূমিকা বিশেষ ভাবে পরিলক্ষিত হয় না। অঙ্কুরোদগম ও বিস্তারের সময় বীজের অধিকাংশ সঞ্চিত খাদ্য প্রথম 3 হইতে 6 দিন পর্যন্ত মূল প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। পরে 6 হইতে 12 দিন পত্র প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। এর পরবর্তী পর্যায়ে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া খাদ্য প্রস্তুতের ফলে মূল, কাণ্ড ও পত্রের বৃদ্ধি সংঘটিত হয়।

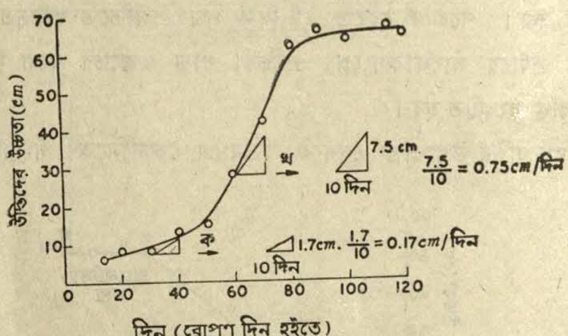
উদ্ভিদ বৃদ্ধির উপরোক্ত লেখকে বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা গাণিতিক ব্যাখ্যা



চিত্র-77 ঃ উদ্ভিদ বৃদ্ধির রেখাচিত্র (লগ্যারিদ্‌ম-এ উপস্থাপিত)। বৃদ্ধির তিনটি স্তরকে (ক-খ, খ-গ, গ-ঘ) সরল রেখার নির্দেশ করা হইয়াছে।

(mathematical analysis) দ্বারা পর্যালোচনা করেন। বার্লি উদ্ভিদের উপরোক্ত উপাত্ত (data) (চিত্র-76) লগ্যারিদ্‌মে উপস্থাপিত করিলে চিত্র-77-এর ন্যায় লেখ প্রকাশ পায়। এই ধরণের রেখাচিত্রকে সিগমানুরূপ (sigmoid) বা S-অনুরূপ রেখা বলা হয়। উপরোক্ত লেখে বৃদ্ধির তিনটি পর্যায় নির্দেশিত হয়। এই তিনটি পর্যায়ের প্রথম পর্যায়কে **ধীরুজ দশা** (lag phase) [চিত্রের ক-খ অংশ] বলা হয়। এই পর্যায়টি বৃদ্ধির প্রারম্ভে পরিলক্ষিত হয়। অঙ্কুরোদগমের 20 হইতে 90 দিন পর্যন্ত বৃদ্ধি অতীব দ্রুত হয় এবং এই বৃদ্ধি দশাকে **লগ দশা** (log phase) বলে [চিত্রের খ-গ অংশ]। বৃদ্ধির তৃতীয় পর্যায়ে বৃদ্ধি হ্রাস পায় এবং এই পর্যায়কে **বার্দ্ধক্য দশা** (senescence phase) বলা হয় [চিত্রের গ-ঘ অংশ]।

নিম্নে উপস্থাপিত চিত্রে (চিত্র-78) উদ্ভিদের বৃদ্ধি কালে উদ্ভিদ উচ্চতার ক্রমপুঞ্জিত (cumulative) বৃদ্ধি নির্দেশিত হয়। একক সময় ব্যবধানে উদ্ভিদের আয়তন বৃদ্ধিকে **আপেক্ষিক বৃদ্ধি হার** (relative growth rate বা RGR)



চিত্র-78 : উদ্ভিদ বৃদ্ধি হারের লেখ। 30 দিন বৃদ্ধি লেখকে স্পর্শ করিয়া (tangent) একটি সরল রেখা টানিয়া (ক) একটি ত্রিভুজ অঙ্কন করিয়া, বৃদ্ধিহার নির্ণীত হয়। 30 দিনের (ক) বৃদ্ধি হার 0·17cm/দিন এবং 60 দিনের (খ) বৃদ্ধি হার 0·75cm/দিন।

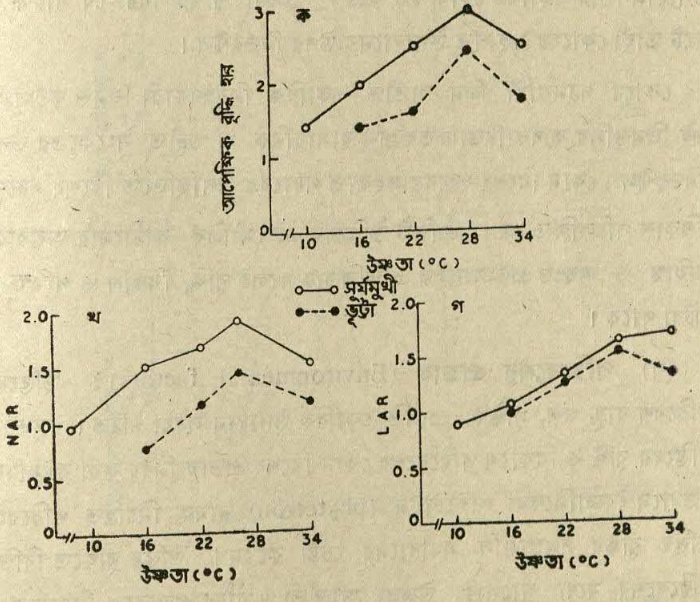
বলা হয়। চিত্র-78-এর ‘ক’ ও ‘খ’ স্থানে বৃদ্ধি লেখকে স্পর্শ করিয়া (tangent) একটি রেখা টানিলে এবং ঐ দুইটি বিন্দু 90° ত্রিকোণ দ্বারা যুক্ত করিলে, ঐ

ত্রিভুজের ভূমির রেখাটি 10 দিন এবং অপর রেখাটি ঐ সময়ে আয়তন বৃদ্ধি নির্ণয় করে।'ক' ও 'খ' স্থানের বৃদ্ধি হার যথাক্রমে 0·17cm/দিন এবং 0·75cm/দিন।

আপেক্ষিক বৃদ্ধি হারের (RGR) দুইটি অংশ—প্রথমটি নীট আত্মীকরণ হার (net assimilation rate বা NAR); ইহা উদ্ভিদের একক সময় ও পত্র আয়তনের শুষ্ক ওজনের বৃদ্ধি। দ্বিতীয়টি পত্র ক্ষেত্রফল অনুপাত (leaf area ratio বা LAR) অর্থাৎ শুষ্ক ওজনের সহিত পত্র ক্ষেত্রফলের অনুপাত। অর্থাৎ

আপেক্ষিক বৃদ্ধি হার = নীট আত্মীকরণ হার × পত্র ক্ষেত্রফল অনুপাত
(RGR) (NAR) (LAR)

সূর্যমুখী (sunflower) এবং ভূট্টা (maize) উদ্ভিদের আপেক্ষিক বৃদ্ধি হার পর্যালোচনা করিলে দেখা যায় যে উভয় ক্ষেত্রে RGR-এর রেখাচিত্র প্রায়



চিত্র-79 : সূর্যমুখী ও ভূট্টা উদ্ভিদে (ক) আপেক্ষিক বৃদ্ধি হার, (খ) NAR এবং (গ) LAR-র উপর উষ্ণতার প্রভাব। উভয় উদ্ভিদকে 3000 ftc. ও 16 ঘণ্টা আলোকে বৃদ্ধি পরিমাপণ করা হইয়াছে।

অভিন্ন, উভয়ক্ষেত্রে সর্বাপেক্ষা বৃদ্ধি 28°C ঘটে এবং উচ্চতর উষ্ণতায় বৃদ্ধি হ্রাস পায় (চিত্র-79)।

বৃদ্ধি ও পরিস্ফূরণের প্রভাব (Factors affecting growth and development) ঃ উদ্ভিদের বৃদ্ধির সময় যে বিভিন্ন পরিস্ফূরণ ঘটে তাহা উদ্ভিদের সহজাতক্ষমতা (genetical), পুষ্টি, হরমোন, পরিবেশ প্রভৃতি একাধিক অন্তঃস্থ ও বহিঃস্থ প্রভাবের উপর নির্ভরশীল। উপরোক্ত প্রভাবগুলির সহিত উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও বিকাশের প্রতিক্রিয়া অত্যন্ত জটিল।

(ক) **সহজাত প্রভাব** (Genetic factor) ঃ বর্তমানে জীববিজ্ঞানীরা মনে করেন যে, সমস্ত সংবাদ বাহকের একক হইল "জিন" (gene)। ইহা কতকগুলি ধারাবাহিক নিউক্লিওটাইড বা DNA দ্বারা প্রস্তুত। উদ্ভিদের এই সহজাত উপাদানটি নিষেকের সময় পুং ও স্ত্রী গ্যামেট হইতে জাইগোটে স্থানান্তরিত হয়। কোষ বিভাজনের মাধ্যমে এই জাইগোট একই সহজাত উপাদানসম্পন্ন একাধিক কোষ সৃষ্টি করে। সুতরাং বৃদ্ধির সময় যে পরিস্ফূরণ ঘটে তাহা কোষের সহজাত উপাদানের উপর নির্ভরশীল।

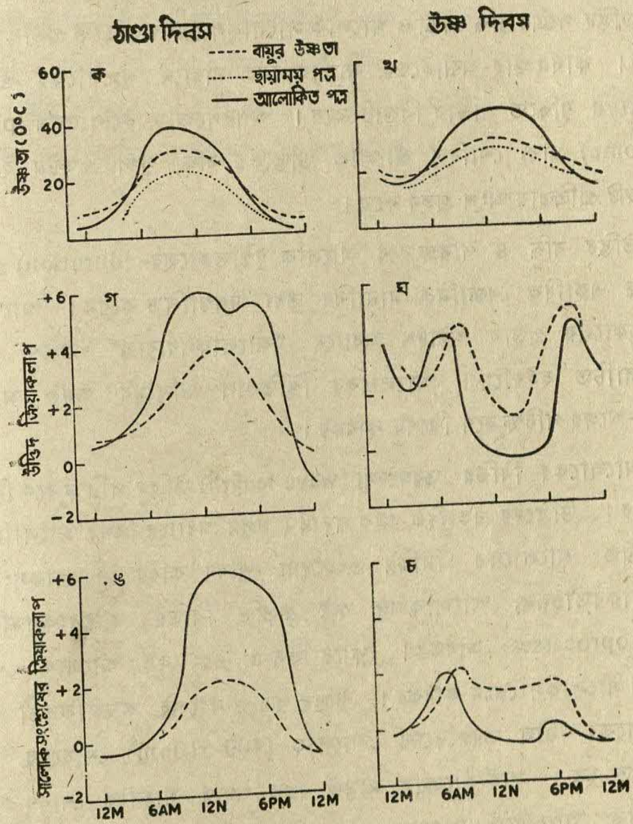
কোষে গঠনকারী জিন ব্যতীত একাধিক নিয়ন্ত্রণকারী জিনও বর্তমান। এই জিনগুলির কার্যকারিতা কতকগুলি রাসায়নিক ও ভৌত সংকেতের উপর নির্ভরশীল। কোন বিশেষ ধরণের সহজাত পদার্থের উপস্থিতিতে বিশেষ ধরণের বিকাশ পরিলক্ষিত হয়। প্রতিটি উদ্ভিদের এই মৌলিক কাঠামোর অন্তরালে বহিঃস্থ ও অন্তঃস্থ প্রভাবগুলির প্রতিক্রিয়ার ফলেই বৃদ্ধি, বিকাশ ও পরিস্ফূরণ ঘটিয়া থাকে।

(খ) **পরিবেশের প্রভাব** (Environmental factors) : উদ্ভিদের পরিবেশ বায়ু, জল, মৃত্তিকা প্রভৃতি একাধিক উপাদান লইয়া গঠিত। সুতরাং উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও বিকাশে পরিবেশের কোন বিশেষ প্রভাব নির্ণয় করা কষ্টসাধ্য। বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা ফাইটোট্রন (phytotron) নামক নিয়ন্ত্রিত পরিবেশে উদ্ভিদ বৃদ্ধির সমস্যাগুলি সমাধানের চেষ্টা করেন। উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে বিভিন্ন পরিবেশের মধ্যে আলোক, উষ্ণতা, আর্দ্রতা ও বায়ুর প্রভাবকে বিশেষভাবে গুরুত্ব দেওয়া হয়।

(1) **অলোক** (Light) ঃ আলোক বলিতে সূর্য হইতে বিচ্ছুরিত 400 nm হইতে 700 nm দৃশ্যমান আলোকের কথাই বলা হইয়া থাকে।

আলোকের প্রখরতা (intensity), স্থিতিকাল (duration) এবং চরিত্র (quality) উদ্ভিদ বৃদ্ধি ও বিকাশে বিশেষ কার্যকর।

বীজের অঙ্কুরোদ্গমের সময় উদ্ভিদের বৃদ্ধি আলোকবিহীন পরিবেশে সংঘটিত হইলেও, আলোকবিহীন পরিবেশে বর্দ্ধিত উদ্ভিদ অতীব লম্বা ও দীর্ঘ পর্বমধ্য (internode) সম্পন্ন হয়। এই পরিবেশে বর্দ্ধিত উদ্ভিদের পত্র বিস্তার



চিত্র-80 : প্রতিদিনের বায়ু উষ্ণতার পরিবর্তনে পত্র উষ্ণতা (ক ও খ) উদ্ভিদের ক্রিয়াকলাপ (গ ও ঘ) এবং সালোকসংশ্লেষের (ঙ ও চ) সম্পর্ক।

লাভ করে এবং উদ্ভিদগুলি পিঙ্গল (etiolated) বর্ণের হয়। অপরপক্ষে, আলোকের উপস্থিতিতে, উদ্ভিদের পর্বমধ্য হ্রস্ব ও সবুজ বর্ণের হয়; বিস্তৃত পত্র-বিশিষ্ট হইয়া থাকে। বীজের অঙ্কুরোদগমের সময় আলোক অপরিহার্য না হইলেও পরবর্তী পর্যায়ের বৃদ্ধি ও বিকাশের জন্য আলোক অপরিহার্য। আলোকের অনুপস্থিতিতে উদ্ভিদের বৃদ্ধি সম্পূর্ণ হয় না এবং অবশেষে উদ্ভিদের বিনাশ ঘটে। আলোকের উপস্থিতিতে উদ্ভিদপত্র অতীব স্থূল হয়।

উদ্ভিদ পত্রের বৃদ্ধি ছাড়াও আলোক সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিতে প্রভাব বিস্তার করে। কার্বন ডাই-অক্সাইডের আত্মীকরনের মাধ্যমে আলোকের প্রখরতা উদ্ভিদের বৃদ্ধিতে প্রভাব বিস্তার করে। অপরপক্ষে, ফাইটোক্রোম (phytochrome) দ্বারা শোষিত আলোক উদ্ভিদের বৃদ্ধি, পুষ্প প্রস্ফুটন ইত্যাদি অঙ্গসৃষ্টি প্রক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে।

উদ্ভিদ বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণে আলোক স্থিতিকালের (duration) প্রভাব সম্বন্ধে একাধিক বৈজ্ঞানিক নানাবিধ তথ্য উপস্থাপিত করেন। আলোকে স্থিতিকালের প্রভাব অষ্টাদশ অধ্যায়ে "আলোকপর্যাবৃত্তি" অংশে বিশদ আলোচিত হইয়াছে। আলোকের স্থিতিকাল উদ্ভিদের অঙ্গজ অপেক্ষা জনন-অঙ্গের পরিস্ফুরণে বিশেষ কার্যকর।

আলোকের বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য (wave length) উদ্ভিদ পরিস্ফুরণে বিশেষ কার্যকর। উদ্ভিদের একাধিক রঞ্জক পদার্থ (সপ্তম অধ্যায়ে বিশদ আলোচিত) বিচ্ছুরিত আলোকের নির্দ্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য শোষণ করিয়া, সালোকসংশ্লেষ, আলোকবর্তীচলন, আলোকঅঙ্গ সৃষ্টি প্রভৃতি বিভিন্ন আলোকপদ্ধতিতে (photoprocesses) কার্যকর। ক্লোরোফিল-a এবং -b আলোক শোষণ করিয়া সালোকসংশ্লেষে কার্যকর। উদ্ভিদ পত্র ও কাণ্ডের আলোকবর্তী চলন আলোকের নীল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক (400-510nm) শোষণের ফলে সংঘটিত হয়। ফাইটোক্রোম নামক রঞ্জক পদার্থ আলোক শোষণ করিয়া আলোক অঙ্গসৃষ্টিতে সাহায্য করে (বিশদ আলোচনা অষ্টাদশ অধ্যায়ে দ্রষ্টব্য)।

(2) **উষ্ণতা** (Temperature) : বায়ুর উষ্ণতা পরিবর্তনে পত্র উষ্ণতা ও উদ্ভিদের বিভিন্ন ক্রিয়াকলাপের সহিত সম্পর্কিত। উষ্ণতার সহিত উদ্ভিদের বৃদ্ধি হার, উৎসেচক কার্যকারিতার প্রত্যক্ষ জড়িত। ঠাণ্ডা দিবসে উষ্ণতা

বৃদ্ধি করিলে আলোকপ্রাপ্ত ও ছায়াময় (shaded) পত্রের শারীরবৃত্তীয় কার্য বৃদ্ধি পায় ; অপরপক্ষে, উষ্ণদিবসে উষ্ণতা অধিক হওয়ায় উদ্ভিদের ক্রিয়াকলাপ হ্রাস পায়। অধিক উষ্ণতায় প্রস্বেদন হার বৃদ্ধি পাওয়ায় কোষের স্ফীতি চাপের হ্রাস হয়, ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয় এবং উদ্ভিদের ক্রিয়াকলাপ হ্রাস পায়। উষ্ণ দিবসে সকাল ও সন্ধ্যায় উষ্ণতা স্বল্প হওয়ায় উদ্ভিদ ক্রিয়াকলাপের বৃদ্ধি ঘটে।

(3) **আর্দ্রতা** (Moisture) : উদ্ভিদের বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াকলাপ আর্দ্রতার উপর নির্ভরশীল। জল অভাবে এই সমস্ত ক্রিয়াকলাপ হ্রাস পায়। সুতরাং বায়ু ও মৃত্তিকা আর্দ্রতা সাধারণ ভাবে বৃদ্ধি ও বিকাশে সহায়ক।

(4) **পুষ্টির প্রভাব** (Nutritional factors) : উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে পুষ্টির প্রভাব প্রথম অধ্যায়ে বিশদভাবে আলোচিত হইয়াছে।

ষোড়শ অধ্যায়

উদ্ভিদ হরমোন

(Plant hormones)

উদ্ভিদের বৃদ্ধি একটি গতিশীল জটিল প্রক্রিয়া হইলেও ইহা অতীব নিয়ন্ত্রিত অর্থাৎ উদ্ভিদের বিভিন্ন অংশের বৃদ্ধি সম্পূর্ণ সমন্বয়মূলক (correlated)। বৃদ্ধির এই সমন্বয় বিশেষ কতকগুলি নিয়ন্ত্রিত পদ্ধতির মাধ্যমে সম্পাদিত হয়।

ঊনবিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগে জার্মান শারীরবিদ্ স্যাক্স (Sachs) মন্তব্য করেন যে, উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণ পত্র, মূল ও পুষ্প প্রভৃতি অঙ্গ সৃষ্টিকারী (organ forming) পদার্থের কার্যকারিতার ফলে সংঘটিত হয়। তদানীন্তন-কালে উপরোক্ত অঙ্গ সৃষ্টিকারী পদার্থের অন্তরণ (isolation) এবং শনাক্তকরণ (identification) সম্ভব হয় নাই, ফলে স্যাক্সের মন্তব্য বৈজ্ঞানিকদের নিকট বিশেষভাবে গৃহীত হয় নাই।

বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা মনে করেন যে অঙ্গ সৃষ্টিকারী পদার্থগুলি জৈব-রাসায়নিক পদ্ধতিকে ত্বরান্বিত করে এবং অতঃপর অঙ্গ সৃষ্টি ও বৃদ্ধি ঘটিয়া থাকে। অঙ্গ সৃষ্টিকারী এই পদার্থকেই প্রাণী শারীরবিদেরা **হরমোন** (hormones) নামে আখ্যা দেন। হরমোন একপ্রকার জৈব পদার্থ যাহা জীব কোষে অত্যন্তস্বল্প পরিমাণে কার্যকর। বিশেষ কতকগুলি কোষে হরমোন প্রস্তুত হইয়া অন্যত্র বাহিত হয় এবং অতঃপর কার্যকর হয়। উদ্ভিদের এই প্রকার জৈব রাসায়নিক পদার্থকে **উদ্ভিদ হরমোন** (plant hormones বা phytohor-mones) বলা হয়।

হরমোনের কার্যপ্রণালী বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। বর্তমানে হরমোনকে এমন কতকগুলি অনুরূপে কল্পনা করা হয় যাহারা জীবদেহে বিভিন্ন বিপাকীয় বিক্রিয়াগুলিকে নিয়ন্ত্রিত করে। এই অণুগুলি জীবদেহে বিপাকীয় বিক্রিয়ার ফলে উদ্ভূত হয় এবং উদ্ভিদ পুষ্টিতে অংশগ্রহণ করে।

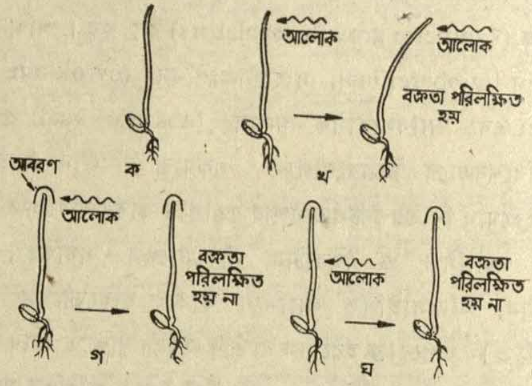
প্রাকৃতিক ছাড়াও একাধিক কৃত্রিম রাসায়নিক পদার্থ উদ্ভিদ বৃদ্ধি ও

পরিস্ফুরণে সমভাবে কার্যকর বলিয়া উদ্ভিদ শারীরবিদেরা উপরোক্ত রাসায়নিক পদার্থগুলিকে সংশ্লেষিত হরমোন (synthetic hormones) আখ্যা দেন। উদ্ভিদ হরমোনের পরিবর্তে **উদ্ভিদ বৃদ্ধি পদার্থ** (plant growth substances) বলিতে প্রাকৃতিক ও রাসায়নিক উভয় প্রকার হরমোনকেই বুঝায়। উদ্ভিদ কোষ হইতে নিঃসৃত প্রাকৃতিক রাসায়নিক নিয়ন্ত্রক পদার্থকে প্রাকৃতিক উদ্ভিদ বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রক (natural plant growth regulators) এবং অপরটিকে কৃত্রিম বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রক (synthetic growth regulators) বলা হয়। অক্সিন (auxins), জিব্বেরেলীন (gibberellins), সাইটোকাইনিন (cytokinins), ইথিলীন (ethylene) এবং অ্যাবসাইসিক অ্যাসিড (abscisic acid) প্রভৃতি উদ্ভিদ হরমোন বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। একমাত্র ইথিলীন ব্যতীত অবশিষ্ট প্রাকৃতিক হরমোন বিভিন্ন জটিলতাসম্পন্ন বৃত্তাকার কার্বন দ্বারা গঠিত। ইণ্ডোল অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও জিয়াটীন নাইট্রোজেন সমন্বিত; অপরপক্ষে জিব্বেরেলীন, অ্যাবসাইসিক অ্যাসিড, কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন সমন্বয়ে গঠিত। উপরোক্ত হরমোন ব্যতীত উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে আরও কতকগুলি হরমোন বিদ্যমান হইলেও ইহাদের রাসায়নিক চরিত্র সুবিদিত নয়।

ক. **অক্সিন** (Auxins)

অক্সিনের আধুনিক জ্ঞানের ভিত্তি 1880 খৃষ্টাব্দে চার্লস ডারউইনের (Charles Darwin) বিভিন্ন পরীক্ষার ফলের উপর প্রতিষ্ঠিত। ডারউইন একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাবে উদ্ভিদের আলোকবৃত্তি চলনের (photo tropism) বিশদ্ পরীক্ষা করেন। তাঁহার পরীক্ষায় তিনি বিভিন্ন ঘাসজাতীয় উদ্ভিদের ভ্রূণমুকুলাবরণীর (coleoptile) উপর একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাব লক্ষ্য করেন। অন্ধকারে বর্দ্ধিত ভ্রূণমুকুলাবরণী সোজা হইয়া বর্দ্ধিত হয় (চিত্র-81 (ক)। ঐ ভ্রূণমুকুলাবরণীর অগ্রে একপার্শ্বীয় আলোক প্রয়োগ করিলে ভ্রূণ মুকুলাবরণীটি আলোকের দিকে বক্রভাবে বর্দ্ধিত হয়। ভ্রূণমুকুলাবরণীর অগ্রভাগ আলোক অভেদ্য (light tight) টুপি দ্বারা আচ্ছাদিত করিয়া ভ্রূণমুকুলাবরণীর নিম্নপ্রান্তে আলোক প্রয়োগ করিলে ভ্রূণমুকুলাবরণীর কোন বক্রতা পরিলক্ষিত হয় না (চিত্র-81 গ)।

বয়সেন-জেনসেন (Boysen-Jensen) 1913 খৃষ্টাব্দে ভ্রূণমুকুলাবরণীর অগ্রভাগ কর্তন করিয়া জিলাটিন বা আগারের টুক্‌রা রাখিয়া তাহার উপর কর্তিত ভ্রূণমুকুলাবরণী স্থাপন করিলে ভ্রূণমুকুলারবণীর সাধারণ বৃদ্ধি ও বক্রতা (একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাবে) লক্ষ্য করেন। ভ্রূণমুকুলারবণী অগ্রভাবে আলোকের বিপরীত দিকে জল-অভেদ্য মাইকা বা তামার পাত প্রোথিত

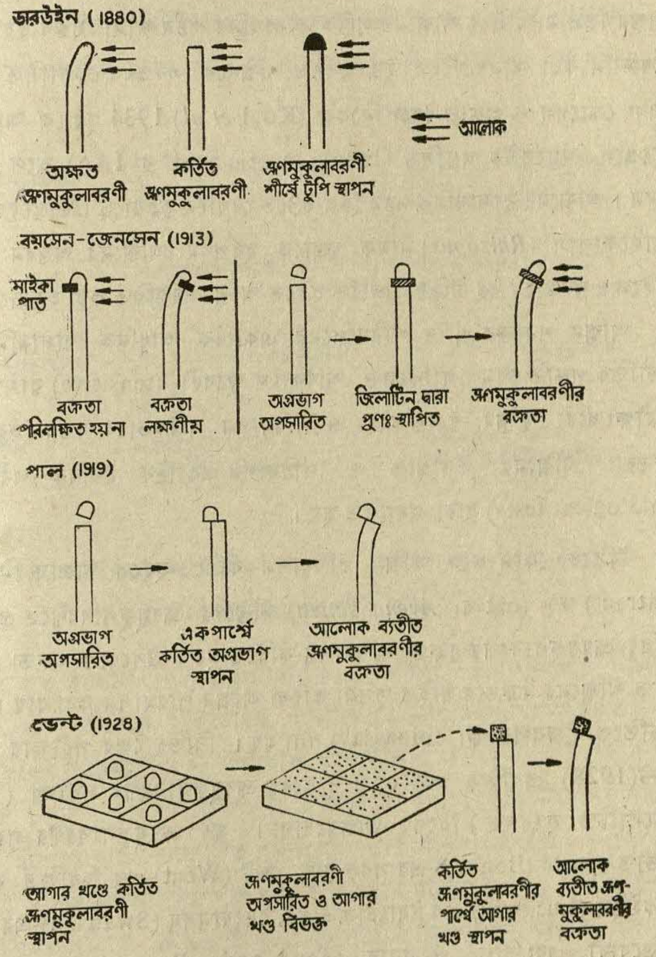


চিত্র-81 : আলোক প্রভাবে জই ভ্রূণমুকুলারবণীর উপর বক্রতার বিভিন্ন পরীক্ষা

করিলে ভ্রূণমুকুলারবণীর কোন বক্রতা হয় না, অপরপক্ষে পাত্‌টি আলোকের দিকে প্রোথিত করিলে সাধারণ বক্রতা পরিলক্ষিত হয় (চিত্র-82)। পাল (Paal) 1919 খৃষ্টাব্দে ভ্রূণমুকুলারবণীর অগ্রভাগ কর্তন করিয়া কর্তিত অংশটি পুনরায় অপ্রতিসম (asymetrical) ভাবে স্থাপন করিয়া বক্রতার বিভিন্ন পরীক্ষা করেন (চিত্র-82)

ভেন্ট (Went) 1928 খৃষ্টাব্দে জই (oat) উদ্ভিদের ভ্রূণমুকুলাবরণীতে নানাবিধ পরীক্ষা করিয়া অক্সিনের উপস্থিতি প্রমাণ করেন। তিনি প্রমাণ করেন যে, কর্তিত ভ্রূণমুকুলারবণীর অগ্রভাগ কোন আগার (agar) খণ্ডে রাখিবার পর, আগার খণ্ডটি ঐ কর্তিত ভ্রূণমুকুলারবণীর উপর স্থাপন করিলে ভ্রূণমুকুলারবণীটি পুনরায় বৃদ্ধি পায়, আবার আগার খণ্ডটি কর্তিত ভ্রূণমুকুলারবণীর একপার্শ্বে স্থাপন করিলে একপার্শ্বীয় আলোক ব্যতীত ভ্রূণমুকুলারবণীর বক্রতা লক্ষ্য করেন (চিত্র-82)।

উপরোক্ত বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা, ইহা নিশ্চিতভাবে প্রমাণিত হয় যে, ভ্রূণমুকুলাবরণীর অগ্রভাগে অবস্থিত রাসায়নিক পদার্থটি বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় এবং ইহা একটি হরমোন। এই হরমোনটিকেই ভেণ্ট "অক্সিন" (auxin) নামে অভিহিত করেন।



চিত্র-82 : ঘাসজাতীয় ভ্রূণমুকুলাবরণীর উপর বিভিন্ন হরমোন-বিজ্ঞানীদের নানাবিধ পরীক্ষা।

অক্সিনের অন্তরন ও রাসায়নিক বৈশিষ্ট্য (Isolation and chemical characterization) :

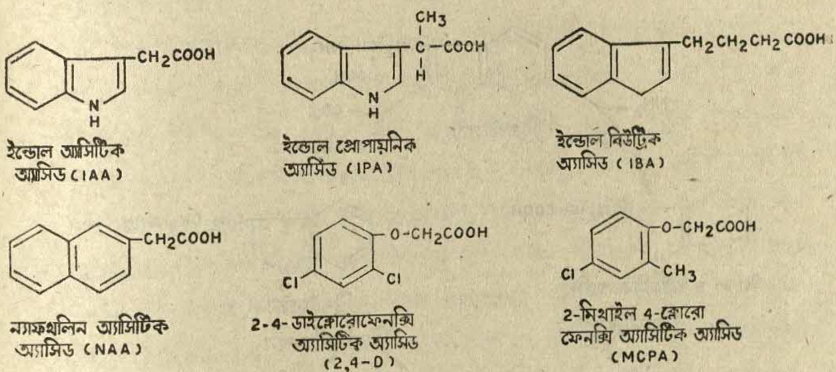
উদ্ভিদ-কোষে অক্সিন স্বল্প পরিমাণ উপস্থিত থাকায় তাহাদের অন্তরন (isolation) এবং রাসায়নিক বৈশিষ্ট্য জানা বৈজ্ঞানিকদের নিকট কষ্টসাধ্য ছিল। 1934 খৃষ্টাব্দের পূর্ব পর্যন্ত অক্সিনকে কেলাসিত (crystalised) করা সম্ভব ছিল না বলিয়া অক্সিনের সঠিক রাসায়নিক গঠন জানা সম্ভব হয় নাই। বৈজ্ঞানিকেরা মানবদেহের মূত্র হইতে অক্সিনকে সর্বপ্রথম কেলাসিত করেন এবং কোগেল ও অন্যান্য বৈজ্ঞানিকেরা (Kogl *et al*) 1934 খৃষ্টাব্দে অক্সিনকে ইণ্ডোল অ্যাসেটিক অ্যাসিড (indole acetic acid বা IAA) রূপে আখ্যা দেন। অক্সিনের রাসায়নিক গঠন চিত্র-83:তে দেখানে হইয়াছে। উদ্ভিদের মধ্যে রাইজোপাস (*Rhizopus*) নামক ছত্রাকে সর্বপ্রথম অক্সিনের অন্তরন সম্ভব হইলেও বর্তমানে বহু উদ্ভিদ প্রজাতি হইতে অক্সিন অন্তরিত করা হইয়াছে।

অক্সিন শনাক্তকরণ ও পরিমাপনের একাধিক আধুনিক রাসায়নিক ও ভৌতিক পদ্ধতি জানা থাকিলেও অধিকাংশ সুবেদী (sensitive) রাসায়নিক পরীক্ষা দ্বারা অক্সিন শনাক্তকরণ ও পরিমাপন সঠিকভাবে সম্ভব হয় না। সুতরাং অক্সিনের উপস্থিতি ও পরিমাপন একাধিক জৈবিক পরীক্ষার (biological tests) দ্বারা প্রমাণিত হয়।

উদ্ভিদের কোন অঙ্গে অক্সিন পরিমাপন করিতে হইলে অজ্ঞাত নির্যাসটি (extract) জই (oat বা *Avena sativa*) উদ্ভিদের ভ্রূণমুকুলাবরণীতে প্রয়োগ করিয়া ভ্রূণমুকুলাবরণীর বক্রতা পরিমাপন করিতে হয়। উপরোক্ত বক্রতা কোন জ্ঞাত অক্সিনের বক্রতার সহিত তুলনা করিয়া অক্সিন পরিমাপন করা যায়। এই পদ্ধতিকে **জৈবপরীক্ষা** (bioassay) বলা হয়। বিভিন্ন জৈব পরীক্ষার মধ্যে ভেণ্ট(1928) প্রবর্তিত জই (oat) উদ্ভিদের ভ্রূণমুকুলাবরণীর পরীক্ষা (পূর্বে আলোচিত হইয়াছে) বিশেষ উল্লেখযোগ্য। জই ভ্রূণমুকুলাবরণীর পরীক্ষা ব্যতীত বোনার (Bonner)-এর সরল বৃদ্ধি, ভেণ্ট (Went)-এর দ্বিখণ্ডিত মটর, লাকউইল (Luckwill)-এর টমাটো গর্ভাশয়, সোয়ানসন (Swanson)-এর মূল প্রতিবোধী এবং ট্যাং ও বনার (Tang and Bonner)-এর ফেরিক ক্লোরাইড পরীক্ষা দ্বারাও অক্সিন পরিমাপন সম্ভব। সেন ও লিওপোল্ড (Sen and Leopold) প্রবর্তিত বর্ণীয় লিখন পত্র (chromatographic paper)

দ্বারা অক্সিন পৃথক ও পরিমাপন পদ্ধতিটিও বিশেষ উল্লেখযোগ্য। উপরোক্ত জৈব পরীক্ষার সঙ্গে সঙ্গে আধুনিক রাসায়নিক পরীক্ষাগুলিও অক্সিন শনাক্তকরণে সহজ ও জনপ্রিয় পদ্ধতি।

কৃত্রিম অক্সিন (Synthetic auxins) : উপরোক্ত বিভিন্ন পরীক্ষাদ্বারা ইহা প্রমাণিত হয় যে, IAA উদ্ভিদের একটি প্রধান অক্সিন। কোগেল (Kogl) *et al*, 1943), হ্যাগেন স্মিট (Haagen Smit, 1935) ও ভেন্টের (Went, 1948) মতে একাধিক কৃত্রিম পদার্থ IAA-এর ন্যায় বৃদ্ধি উদ্বোধকের কার্য করে।

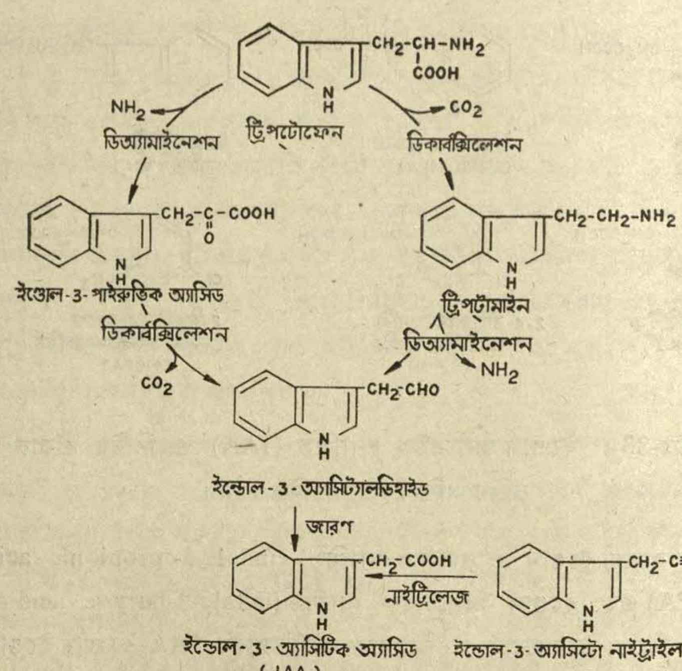


চিত্র-83 : ইণ্ডোল অ্যাসেটিক অ্যাসিড (IAA) ও বিভিন্ন প্রকার কৃত্রিম অক্সিনের রাসায়নিক গঠন।

ইহাদের মধ্যে ইণ্ডোল প্রোপায়নিক অ্যাসিড (indole-3- propionic acid বা IPA) এবং ইণ্ডোল বিউটেরিক অ্যাসিড (indole-3-butyric acid or IBA) বিশেষ উল্লেখযোগ্য। উপরোক্ত অ্যাসিডগুলি IAA-এর ন্যায় ইণ্ডোল বলয়যুক্ত (যদিও পার্শ্ব শৃঙ্খলে তফাৎ) হওয়ায় ইহারা অক্সিনের ন্যায় কার্য করে। ইণ্ডোল বলয় অনুপস্থিত থাকিলেও ন্যাফথেলিন অ্যাসেটিক অ্যাসিডে (NAA) অ্যাসেটিক অ্যাসিড পার্শ্ব শৃঙ্খলে বিদ্যমান থাকায় জৈবিক দিক হইতে সক্রিয় (চিত্র-83)। NAA উদ্ভিদের মূলোদ্গমে (rooting) সহায়তা করায় উদ্যান প্রথায় (horticultural practices) ব্যবহৃত হয়। ইণ্ডোল বলয় বিহীন অপর একটি কৃত্রিম হরমোনের নাম 2,4-ডাইক্লোরোফিনক্সি অ্যাসেটিক

অ্যাসিড (2,4-D)। ইহা আগাছা নাশক (weed killer) রূপে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

অক্সিনের জৈব-সংশ্লেষ (Biosynthesis of auxins) ঃ 1947 খৃষ্টাব্দে ওয়াইল্ডম্যান ও বনারের (Wildman and Bonner) মতে ট্রিপ্‌টোফেন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড অক্সিন সংশ্লেষের অগ্রবর্তী পদার্থ (precursor) রূপে ব্যবহৃত হয়। ইণ্ডোল নিউক্লিয়াসযুক্ত ট্রিপ্‌টোফেন প্রায় সমস্ত উদ্ভিদে মুক্ত অবস্থায় বা প্রোটীনের সহিত সংযুক্ত হইয়া থাকে। ট্রিপ্‌টোফেন ইণ্ডোল-3-



চিত্র-84 ঃ ইণ্ডোল অ্যাসেটিক অ্যাসিডের সম্ভাব্য জৈব সংশ্লেষে পদ্ধতি।

পাইরুভিক অ্যাসিড ও ইণ্ডোল অ্যাসিট্যালডিহাইডের মাধ্যমে IAA প্রস্তুত করে (চিত্র-84)। জই ভ্রূণমুকুলাবরণীতে IAA ট্রিপ্‌টামাইনের মাধ্যমে

সংশ্লেষিত হয়। সরিষা গোত্রীয় উদ্ভিদে (Cruciferae) ইণ্ডোল-3-অ্যাসিটোনাইট্রাইল IAA-এর অগ্রবর্তী পদার্থরূপে ব্যবহৃত হয়।

উদ্ভিদ-কোষে অক্সিনের সংশ্লেষ কোষের প্রকৃতি, আলোকের প্রখরতা ও দস্তার (Zn^{++}) উপস্থিতির উপর নির্ভরশীল। দস্তার অনুপস্থিতিতে ট্রিপ্‌টোফেনের পরিমাণ হ্রাস পাওয়ায় অক্সিন সংশ্লেষ ব্যাহত হয়।

অক্সিনের নিষ্ক্রিয়তা ও ধ্বংস (Auxin inactivation and destruction): উদ্ভিদ-কোষে অক্সিন সংশ্লেষ ও ধ্বংস পাশাপাশি সংঘটিত হয়। সুতরাং কোষে অক্সিনের ঘনত্ব তাহাদের সংশ্লেষ ও ধ্বংসের হারের উপর নির্ভরশীল।

অক্সিন আলোক জারণের (photo oxidation) ফলে ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়। IAA-র জলীয় দ্রবণ আলোকের উপস্থিতিতে ধ্বংস হয়। প্রাকৃতিক রঞ্জক পদার্থের উপস্থিতিতে এই ধ্বংস পদ্ধতি ত্বরান্বিত হয়। রঞ্জক পদার্থগুলি আলোক শোষণ করিয়া IAA জারণকে সক্রিয় করিয়া তোলে। রিবোফ্লোভিন (riboflavin), β-ক্যারটিন (β-carotine) এবং ভায়ালোজ্যান্থিন (violaxanthin) রঞ্জক পদার্থগুলি বর্ণালীর নীল অংশের আলোক শোষণ করিয়া IAA-এর আলোক জারণ পদ্ধতিতে সহায়তা করে। আলোক জারণের ফলে অক্সিনের ইণ্ডোল বলয়টি রূপান্তরিত হইয়া 3-মেথিলীন-2-অক্সিইণ্ডোল (3-methylene-2 oxindole) এবং ইণ্ডোল অ্যালডিহাইড (indole aldehyde) নামক নিষ্ক্রিয় পদার্থ প্রস্তুত করে। আলোকের উপস্থিতিতে 3-মেথিলীন-2-অক্সিইণ্ডোল পদার্থটি উদ্ভিদের বৃদ্ধি প্রতিবন্ধকের (growth inhibitors) কার্য করে।

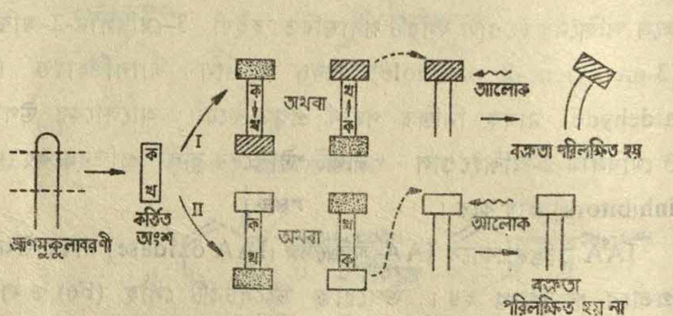
IAA উদ্ভিদ কোষে IAA-অক্সিডেজ (IAA oxidase) নামক উৎসেচকের প্রভাবে ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়। উপরোক্ত উৎসেচকটি লৌহ (Fe) ও ম্যাঙ্গানিজ (Mn) নামক সহ প্রভাবকের প্রভাবে অধিক কার্যকর হইলেও উৎসেচক জারণ (enzyme oxidation) পদ্ধতিটি সম্পূর্ণ জ্ঞাত নয়। উদ্ভিদ-কোষে IAA-অক্সিডেজের পরিমাণের সহিত বৃদ্ধিহারের সম্পর্ক দেখা যায়। উদ্ভিদ-মূলে স্বল্প IAA ঘনত্ব ও অধিক IAA অক্সিডেজ ঘনত্ব পরিলক্ষিত হয়। উপরোক্ত পর্যবেক্ষণ অনুসারে IAA-এর কার্যকারিতার সহিত IAA-অক্সিডেজ কার্যকারিতা বিশেষ সম্পর্কযুক্ত।

উপরোক্ত দুইটি পদ্ধতি ব্যতীত IAA একাধিক যৌগের সহিত যুক্ত হইয়া নিষ্ক্রিয় হয়। উদাহরণস্বরূপ IAA অ্যাসপারটিক অ্যাসিড় নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডের সহিত যুক্ত হইয়া IAA অ্যাসপারটিক অ্যাসিড যৌগ সৃষ্টি করে। ইহা অক্সিনের জৈবিক পরীক্ষায় নিষ্ক্রিয়। গ্লুকোজ, অ্যারাবিনোজ প্রভৃতি শর্করা এবং ইনোসিটল বা বিভিন্ন স্নেহ জাতীয় পদার্থের সহিতও অক্সিন যৌগের সৃষ্টি করে। লঙ্কা জাতীয় উদ্ভিদে IAA অ্যাসকরবিক অ্যাসিডের সহিত অ্যাসকরবিজেন (ascorbigen)-রূপে সঞ্চিত হয়।

সুতরাং উদ্ভিদ-কোষে অক্সিনের কার্য তাহাদের সংশ্লেষ ও নিষ্ক্রিয়তার পরিমাণের ব্যবধানের উপর নির্ভর করে।

অক্সিনের মেরুদেশীয় পরিবহণ (Polar transport of auxins): অক্সিনের পরিবহণ একটি মেরুদেশীয় (polar) প্রক্রিয়া অর্থাৎ অক্সিন একই দিকে মূলকেন্দ্রীক রূপে (basipetally) পরিবাহিত হয়। উদ্ভিদের মূল ও কাণ্ড উভয় ক্ষেত্রেই মূলকেন্দ্রীক পরিবহণ পরিলক্ষিত হয়।

ভেন্ট (Went) 1935 খৃষ্টাব্দে অক্সিনের মেরুদেশীয় পরিবহণ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন (চিত্র-85)। চিত্রের প্রথম পরীক্ষায় (I) ভ্রূণমুকুলাবরণীর অগ্রস্থ অংশে (ক) অভিকর্ষ নিরপেক্ষভাবে কোষগুলিকে স্থাপন করিয়া ঐ অগ্রস্থ অংশে



চিত্র-85 : জই ভ্রূণমুকুলাবরণীতে অক্সিনের মেরুদেশীয় পরিবহণের বিভিন্ন পরীক্ষা।

অক্সিন সমন্বিত এবং পশ্চাৎ অংশে (খ) অক্সিনবিহীন আগারের খণ্ড স্থাপন করিয়া পরে ঐ অক্সিনবিহীন আগার খণ্ডটি কর্তিত ভ্রূণমুকুলাবরণীর উপর

স্থাপন করিলে ভ্রূণমুকুলাবরণীর সাধারণ বৃদ্ধি ও বক্রতা পরিলক্ষিত হয়। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, অক্সিন অগ্রস্থ অংশ হইতে পশ্চাৎ অংশে পরিবাহিত হয়। চিত্রের-II পরীক্ষায় অক্সিনযুক্ত আগার খণ্ডটি বিপরীত অবস্থায় (অর্থাৎ 'খ' অংশে) অক্সিনের বিশেষ পরিবহণ পরিলক্ষিত হয় না।

ভ্যান ডার রাইজ (Van der Weij, 1932) এবং জ্যাকবের (Jacobs, 1950) মতে অক্সিনের মেরুদেশীয় পরিবহণ কাণ্ড ও ভ্রূণমুকুলাবরণীর অগ্রস্থ অংশে অধিক সক্রিয় এবং নিম্ন অংশে ক্রমশ অবণতি ঘটে। 1968 খৃষ্টাব্দে উইলকিন্স ও স্কট (Wilkins and Scott) তেজষ্ক্রিয় ইণ্ডোল অ্যাসেটিক অ্যাসিড ($^{14}C-IAA$) প্রয়োগ করিয়া ভেণ্টের উপরোক্ত পরীক্ষা সমর্থন করেন।

বিভিন্ন বৈজ্ঞানিকদের মতে কৃত্রিম ও প্রাকৃতিক অক্সিন পরিবহণের বেগ (velocity) বিভিন্ন। প্রাকৃতিক অক্সিন ঘণ্টায় 0·5 cm হইতে 1·5 cm পরিবাহিত হয়। কৃত্রিম অক্সিন 2, 4-D-র ক্ষেত্রে ইহার পরিবহণ হার ঘণ্টায় 0·1 cm.

অক্সিনের মেরু দেশীয় পরিবহণ একটি বিশেষ সক্রিয় পদ্ধতি। উদ্ভিদের শ্বসন অক্সিন পরিবহণের সহিত সম্পর্কযুক্ত। সোডিয়াম ফ্লুওরাইড (Na-fluoride), আয়োডো অ্যাসিটেট (iodo acetate) এবং ডাইনাইট্রোফিনল (Dinitrophenol বা DNP) প্রভৃতি বিপাকীয় প্রতিরোধক (inhibitors) প্রয়োগে অক্সিনের মেরুদেশীয় পরিবহণ ব্যাহত হয়। অভিকর্ষ ও উষ্ণতা মেরুদেশীয় পরিবহণে বিশেষ কার্যকর।

অক্সিনের পরিবহণ প্রধানতঃ মেরুদেশীয় হইলেও কোন কোন ক্ষেত্রে পার্শ্বীয় পরিবহণ (lateral transport) ও ঊর্দ্ধমুখী পরিবহণ (upward transport) বিশেষভাবে বিদ্যমান।

বিগত 40 বৎসরে অক্সিন পরিবহণে নানাবিধ পরীক্ষা করিলেও অক্সিন পরিবহণের সঠিক স্থান (pathway) এখনও অজ্ঞাত। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত যে, অক্সিন পরিবহণের বেগ (ঘণ্টায় 0·5 cm--1·5 cm) ফ্লোয়েম পরিবহণের বেগ (ঘণ্টায় 10—100 cm) অপেক্ষা ধীরে সম্পন্ন হয়। অপরপক্ষে, কাণ্ডের অগ্রাংশে ফ্লোয়েমের পরিবহণ অগ্রোন্মুখ (acropetal)। সুতরাং ফ্লোয়েম মাধ্যমে অক্সিনের পরিবহণ সম্ভব নয়। অপরপক্ষে, জাইলেম মাধ্যমে

অক্সিন পরিবহণ সম্ভব নয় কারণ জাইলেম পরিবহণ ঊর্দ্ধমুখী এবং জাইলেম মৃত কোষ দ্বারা গঠিত। সুতরাং মেরুদেশীয় পরিবহণের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি জাইলেমে অনুপস্থিত থাকায় জাইলেমকে অক্সিন পরিবহণের স্থানরূপে গণ্য করা যায় না।

মূলের ক্ষেত্রে অক্সিন পরিবহণ অগ্রোন্মুখ (acropetal)।

অক্সিনের শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা (Physiological role of auxins) : IAA ও নানাবিধ অক্সিন উদ্ভিদে বিভিন্ন পরিস্ফুরণে কার্যকর। অক্সিনের বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা নিম্নোক্ত শিরোনামে বর্ণিত হইল।

(ক) **কোষবৃদ্ধি** (Cell enlargement) : পূর্বে বর্ণিত বিভিন্ন বৈজ্ঞানিকদের নানাবিধ পর্যালোচনা হইতে ইহা প্রমাণিত যে, IAA ও অন্যান্য অক্সিন কোষ বৃদ্ধিতে বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে। উদ্ভিদের কাণ্ড ও ভ্রূণমুকুলাবরণীর বৃদ্ধি কোষ বৃদ্ধির ফলে সংঘটিত হয়। উদ্ভিদের কাণ্ড ও মূলে অক্সিনের অসমান বণ্টনের ফলে পার্থক্যমূলক বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয় (ফলে উদ্ভিদের আলোকবৃত্তি ও অভিকর্ষবৃত্তি চলন ঘটে)।

বয়সেন-জেনসেন (Boysen-Jensen) 1936 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, উদ্ভিদের মূল অক্সিনে অধিক সংবেদী (sensitive) এবং অক্সিনের লঘু ঘনত্বে মূল কাণ্ড অপেক্ষা অধিক বৃদ্ধি পায়।

উদ্ভিদের বৃদ্ধি কোষ বিভাজন ও কোষ-গহ্বর সৃষ্টির (vacuolation) ফলে সংঘটিত হয়। অক্সিন কোষ-গহ্বর সৃষ্টি করিয়া কোষ বৃদ্ধি ঘটায়। অক্সিনের ফলে কোষ-প্রাচীর অধিক নমনীয় (plastic) হয়। কোষ-প্রাচীর নমনীয় হইবার সঙ্গে সঙ্গে নতুন কোষ প্রাচীর পদার্থ সঞ্চিত হইয়া কোষ বৃদ্ধি ঘটায়।

বাহিরের দ্রবণে অক্সিন ঘনত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে উদ্ভিদ অঙ্গের বৃদ্ধি সমানুপাতিক। উদ্ভিদ কাণ্ডের সর্বাধিক বৃদ্ধি 10 mg/litre ($5{\cdot}7 \times 10^{-5}$M) অক্সিন ঘনত্বে ঘটিয়া থাকে। অধিক অক্সিন ঘনত্বে বৃদ্ধি ব্যাহত হয় এবং এই জাতীয় প্রতিক্রিয়াকে দ্বিপর্যায় বক্ররেখা (two phase curve) বলা হয়। মূল ও কাক্ষিক মুকুলের বৃদ্ধির ক্ষেত্রে স্বল্প পরিমাণ অক্সিন প্রয়োজন। অধিক অক্সিন ঘনত্বে ইহাদের বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। অক্সিন সম্ভবতঃ ইথিলীন প্রস্তুতে মাধ্যমে উদ্ভিদ মূলের বাধাদান ঘটায়।

থিম্যাণ (Thimann) 1937 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, বহির্জনিষ্ণু অক্সিনের

(exogenous auxin) প্রভাবে মূল, মুকুল ও কাণ্ডে বৃদ্ধির তারতম্য পরিলক্ষিত হয়। 10^{-10}M অক্সিন ঘনত্বে মূলের বৃদ্ধির উন্নতি হইলেও কাণ্ড ও মুকুলের বৃদ্ধি ঘটে না। অপরপক্ষে, 10^{-6}M ঘনত্বে কাণ্ডের বৃদ্ধি অধিক হইলেও মূল ও মুকুলের বৃদ্ধি ব্যাহত হয়।

(খ) **ট্রপিক চলন** (tropic movements): উদ্ভিদের ট্রপিক চলনে অক্সিনের ভূমিকা জই (oat) ভ্রূণমুকুলাবরণীর পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে। 1928 খৃষ্টাব্দে ভেন্ট (Went) পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, উদ্ভিদের অসমান অক্সিন পরিমাণের উপর উদ্ভিদের ট্রপিক চলন নির্ভরশীল। উদ্ভিদ চলনের উপর অক্সিনের প্রভাব সপ্তদশ অধ্যায়ে বিশদভাবে আলোচিত হইয়াছে।

(গ) **পার্শ্বীয় মুকুল বৃদ্ধিতে বাধাদান** (Inhibition of lateral bud development): উদ্ভিদের অগ্রস্থ ভাজক কলার সংশ্লেষিত IAA পার্শ্বীয় (কাক্ষিক) মুকুলের বৃদ্ধি বাধাদান করে। সুতরাং উদ্ভিদের অগ্রস্থ ভাজক কলা কর্তন করিলে অক্সিনের উৎস অপসারিত হওয়ায় পার্শ্বীয় মুকুলের বৃদ্ধি ও পরিস্ফূরণ পরিলক্ষিত হয়। পার্শ্বীয় মুকুল বৃদ্ধিতে অক্সিনের এই বাধাদানকে **অগ্রস্থ প্রভাব** (apical dominance) বলা হইয়া থাকে। চা গাছের পার্শ্ব শাখা বৃদ্ধির জন্য অগ্রস্থ কাণ্ড নিয়মিত কর্তন করিতে হয়।

(ঘ) **পত্রমোচন** (Leaf abscission): উদ্ভিদের সাধারণ বৃদ্ধির সময় পরিপক্ব পত্র ও ফলের মোচন একটি সাধারণ ঘটনা। অপরিণত পত্র ও ফলের মোচন অর্থনৈতিক দৃষ্টিভঙ্গিতে অত্যন্ত ক্ষতিকারক। পত্র ও ফলের মোচন পত্র ও ফলের অক্ষে মোচন-স্তর (abscission layer) নামক একটি জল অভেদ্য কোষস্তর সৃষ্টি হওয়ার ফলে সংঘটিত হয়। মোচন স্তরের নিকটে অক্সিন ঘনত্বের উপর মোচন পদ্ধতিটি বিশেষ সম্পর্কযুক্ত। সুতরাং পরিমাণ মতো অক্সিনের বাহ্যিক প্রয়োগে অপরিণত অবস্থায় পত্র ও ফলের মোচন রোধ করা সম্ভব।

(ঙ) **অঙ্গ পরিস্ফূরণ** (Organ differentiation): IAA উদ্ভিদের সাধারণ বৃদ্ধি ছাড়াও বৃদ্ধির ধরণের উপর কার্যকর। তরুণ কাণ্ডে অধিক ঘনত্বের IAA প্রয়োগ করিলে ক্যালাস (callus) নামক অবিভেদিত কোষের

সৃষ্টি হয়। কিন্তু স্বল্প ঘনত্বে মূল, কাণ্ড, মুকুল ও পুষ্পের পরিস্ফুরণ পরিলক্ষিত হয়।

(চ) **ফল বিকাশ** (Furit development)ঃ সাধারণ অবস্থায় ফলের বিকাশ পরাগ সংযোগের মাধ্যমে সংঘটিত হয়। সার্থক পরাগ সংযোগের ফলে ভ্রূণের দ্রুত বৃদ্ধি ঘটে এবং ফলের বিকাশ আরম্ভ হয়। সুতরাং পরাগ-সংযোগ ও নিষেক ব্যতীত ফল বিকাশ সম্ভব নয়। গুস্টাফসন (Gustafson) 1936 খৃষ্টাব্দে অক্সিন প্রয়োগ করিয়া পরাগসংযোগ ব্যাতিরেকে উদ্ভিদের ফল বিকাশ লক্ষ্য করেন। পরাগ সংযোগ ব্যতীত বীজহীন (seedless) ফল উৎপাদনকে **পার্থেনোকার্পি** (parthenocarpy) বলা হয়। প্রাকৃতিক অবস্থায় ফল বিকাশে অসুবিধা ঘটিলে বাহ্যিক অক্সিন প্রয়োগ করিয়া অধিকাংশ ক্ষেত্রে ফলের বিকাশ সম্ভব হয়। কলা, আপেল, আঙ্গুর প্রভৃতি একাধিক উদ্ভিদের এই ধরণের বীজহীন ফল প্রস্তুত সম্ভব হইয়াছে। বীজহীন ফলের অর্থনৈতিক গুরুত্ব বিদ্যমান।

খ. জিব্বেরেলীন (Gibberellins)

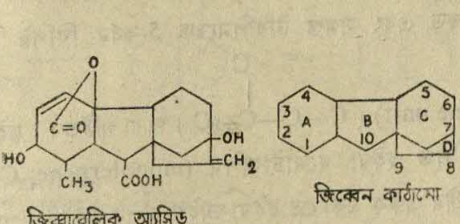
বিংশ শতাব্দীর তৃতীয় দশকে বৈজ্ঞানিকেরা যখন অক্সিনের অন্তরন ও শনাক্তকরণ সম্বন্ধে নানাবিধপরীক্ষা করিতেছিলেন তখন জাপানের বৈজ্ঞানিকেরা ধান গাছের "ব্যাকানে" (bakanae) নামক একটি ছত্রাক রোগের নানাবিধ পরীক্ষায় ব্যস্ত। এই ছত্রাকটির নাম *Gibberella fujikuroi*। ব্যাকানে রোগাক্রান্ত উদ্ভিদগুলি অতীব দীর্ঘাকৃতির হইয়া থাকে। কুরোসোয়া (Kurosawa) 1926 খৃষ্টাব্দে প্রথম প্রমাণ করেন যে, এই ছত্রাক হইতে নিঃসৃত পদার্থই ধান গাছের অতিকায় বৃদ্ধির জন্য দায়ী। পরে 1938 খৃষ্টাব্দে য়াবুতা (Yabuta) ঐ ছত্রাক হইতে প্রথম হরমোন কেলাসিত করেন এবং ঐ হরমোনকে **জিব্বেরেলীন-A** (gibberellin-A) নামে আখ্যা দেন।

দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের জন্য জাপানীদের তৎকালীন বৈজ্ঞানিক ক্রিয়াকলাপ বিশ্বের অন্যত্র অজ্ঞাত ছিল। দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের পর ইংল্যাণ্ড ও আমেরিকার বৈজ্ঞানিকেরা তাহাদের বৈজ্ঞানিক ক্রিয়াকলাপ সম্বন্ধে অবগত হন। বিভিন্ন বৈজ্ঞানিকদের প্রচেষ্টার ফলে 1954 খৃষ্টাব্দে ব্রায়ান (Brian) সর্বপ্রথম এই

হরমোনের রাসায়নিক চরিত্র বিশ্লেষণ করেন। এই হরমোনের রাসায়নিক নাম জিব্বেরেলীক অ্যাসিড (gibberellic acid)। জিব্বেরেলীক অ্যাসিডের রাসায়নিক গঠন নিম্নে বর্ণনা করা হইল। বিভিন্ন জিব্বেরেলীনের মধ্যে জিব্বেরেলীক অ্যাসিডই (GA_3) সহজ লভ্য এবং শারীরবৃত্তীয় গবেষণায় অধিক ব্যবহৃত হয়। *Gibberella fujikuroi* হইতে সর্বপ্রথম জিব্বেরেলীন নির্যাসিত হইলেও বর্তমানে একাধিক উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদেও জিব্বেরেলীনের উপস্থিতি পরিলক্ষিত হয়। অদ্যাবধি 50টির বেশী বিভিন্ন জিব্বেরেলীন আবিষ্কৃত হইয়াছে। জিব্বেরেলীনকে GA সাংকেতিক চিহ্ন দ্বারা নির্ণয় করা হয়। বিভিন্ন জিব্বেরেলীনের নাম GA চিহ্নের নিম্নে সংখ্যা দ্বারা চিহ্নিত হয় (যেমন GA_1, GA_2, GA_3,……ইত্যাদি)। উদ্ভিদের বিভিন্ন অঙ্গে জিব্বেরেলীন সংশ্লেষিত হয়।

বিভিন্ন প্রকার জিব্বেরেলীনের মধ্যে GA_3-ই উদ্ভিদ-অঙ্গে অধিক উপস্থিত। ইহা ব্যতীত GA_1, GA_4, GA_7, GA_8 এবং GA_9 প্রভৃতি জিব্বেরেলীনও বিশেষ উল্লেখযোগ্য।

জিব্বেরেলীনের রাসায়নিক গঠন (Chemical nature of gibberellins): 1961 খৃষ্টাব্দে ক্রস (Cross) এবং ম্যাক্মিল্যান (Mac Millan) নানাবিধ পরীক্ষা দ্বারা বিভিন্ন জিব্বেরেলীনের রাসায়নিক গঠন নির্ণয় করেন। জিব্বেরেলীনগুলি একশ্রেণীর ডাইটারপেনয়েড* (diterpenoid)।



চিত্র-86 : জিব্বেন কার্বন কাঠামো (ডান দিকে) ও জিব্বেরেলীক অ্যাসিডের (GA_3) রাসায়নিক গঠন।

সমস্ত জিব্বেরেলীন মৌলিক জিব্বেন কার্বন কাঠামো দ্বারা গঠিত (চিত্র-86)।

* 5-কার্বন বিশিষ্ট আইসোপ্রেন একক দ্বারা গঠিত।

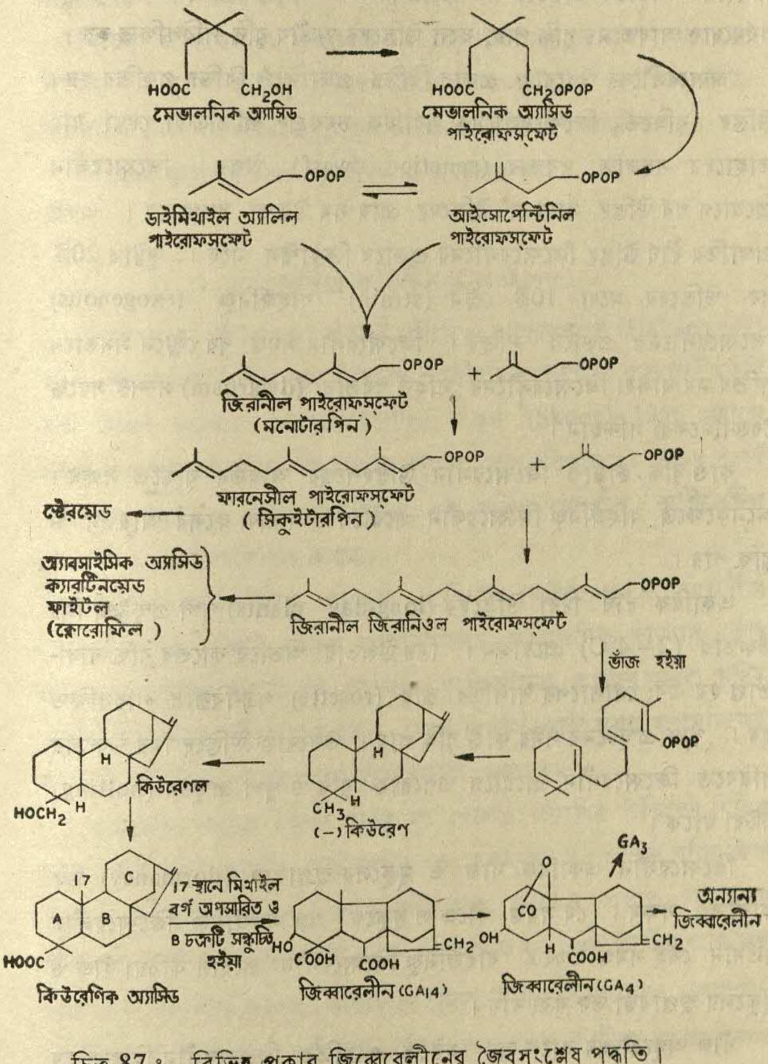
বিভিন্ন জিব্বেরেলীনের পার্থক্য তাহাদের বলয় তন্ত্রে এবং 'A' বলয়ের সম্পৃক্তকরণে পরিলক্ষিত হয়। জিব্বেরেলীন ব্যতীত জিব্বেন কার্বন কাঠামোযুক্ত রাসায়নিক পদার্থে জিব্বেরেলীনের ন্যায় জৈবিক ক্রিয়াকলাপ প্রদর্শিত হয়। হেলমেন্থোস্পোরিয়াম স্যাটিভাম (*Helminthosporuim sativum*) নামক ছত্রাক হইতে নিঃসৃত হেলমেন্থোস্পোরল (helminthosporol) ও সয়াবীন বীজ হইতে নিঃসৃত ফেসিয়োলিক অ্যাসিড (phaseolic acid) জিব্বেরেলীনের ন্যায় গঠন সম্পন্ন না হইয়াও জিব্বেরেলীনের ন্যায় কার্য করে।

জিব্বেরেলীনের বণ্টন (Distribution of gibberellins) : ওয়েষ্ট ও ফিনি (West and Phinney) 1958 খৃষ্টাব্দে উল্লেখ করেন যে, জিব্বেরেলীন প্রাকৃতিক ভাবে উদ্ভিদ-কোষে বর্তমান। কর্কোরান ও ফিনির (Corcoran and Phinney, 1962) মতে অধিকাংশ জিব্বেরেলীন পরিপক্ক বীজে বিদ্যমান। অঙ্কুরিত চারাগাছ ও বীজপত্র (cotyledon) এবং পত্রের বর্দ্ধিষ্ণু অঞ্চলেও জিব্বেরেলীন উপস্থিত থাকে।

জিব্বেরেলীনের জৈব সংশ্লেষ (Biosynthesis of gibberellins) : জিব্বেরেলীনের জৈব-সংশ্লেষেব পদ্ধতি প্রধানত *Gibberella fujikuroi* নামক ছত্রাকের বিপাক ক্রিয়া হইতে পাওয়া যায়। বর্তমানে বৈজ্ঞানিকদের ধারণা এই যে, ঐ একই পদ্ধতি উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদের ক্ষেত্রেও প্রয়োজ্য। জিব্বেরেলীন একটি টারপিনয়েড এবং সমস্ত টারপিনয়েড 5-কর্বন বিপিষ্ট "আইসোপ্রীন একক" (isoprene unit) (C—C—C(—C)—C) দ্বারা গঠিত। দুইটি আইসোপ্রীন একত্রে মিলিত হইয়া মনোটারপিন (monoterpene, C = 10) এবং চারিটি আইসোপ্রীন একক একত্রিত হইয়া ডাইটারপিন (diterpene, C = 20) প্রস্তুত হয়।

বার্চ ও সহকর্মীরা (Brich *et al*) 1958 খৃষ্টাব্দে তেজস্ক্রিয় কার্বন (^{14}C) ব্যবহার করিয়া জিব্বেরেলীনের জৈব সংশ্লেষের পূর্ণ ব্যাখ্যা দেন। তাঁদের মতে 2-কার্বন বিশিষ্ট অ্যাসিটেট হইতে মেভালনিক অ্যাসিড (mevalonic acid) প্রস্তুত হয়। মেভালনিক অ্যাসিড জিরানীল জিরানিওল (geranyl

geraniol)-এর মাধ্যমে জিব্বেরেলীন প্রস্তুত হয়। জিব্বেরেলীনের জৈব সংশ্লেষ পদ্ধতিটি নিম্নে লিপিবদ্ধ হইল (চিত্র-87)।



চিত্র-87 : বিভিন্ন প্রকার জিব্বেরেলীনের জৈবসংশ্লেষ পদ্ধতি।

জিব্বেরেলীনের শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা (Physio'ogical role of gibberellins) : একাধিক বৈজ্ঞানিকদের মতে জিব্বেরেলীন একটি

প্রাকৃতিক হরমোন এবং অক্সিনের ন্যায় উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে কার্যকর। জিব্বেরেলীনের প্রভাবে উদ্ভিদের পর্ব মধ্যের (interr ode) সংখ্যা বৃদ্ধি না পাইয়া পর্বমধ্যের আয়তনের বৃদ্ধি পায়, ফলে উদ্ভিদের অতীব বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়।

জিব্বরেলীদের উপরোক্ত প্রভাব বিভিন্ন প্রজাতিতে বিভিন্ন প্রকৃতির হয়। উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে জিব্বেরেলীনের সর্বাধিক চমকপ্রদ প্রতিক্রিয়া দেখা যায় তাহাদের সহজাত খর্বতার (genetic dwarf) উপর। জিব্বেরেলীন প্রয়োগে খর্ব উদ্ভিদ সাধারণ উদ্ভিদের প্রায় সম উচ্চতা সম্পন্ন হয়। একই প্রজাতির দীর্ঘ উদ্ভিদ জিব্বেরেলীনের প্রভাবে ক্রিয়াশীল নহে। ভূট্টার 20টি খর্ব উদ্ভিদের মধ্যে 10টি স্ট্রেন (strain) বহির্জনিষ্ণু (exogenous) জিব্বেরেলীনের প্রভাবে সক্রিয়। জিব্বেরেলীন সমস্ত খর্ব স্ট্রেনে সমভাবে সক্রিয় নয় বলিয়া জিব্বেরেলীনের সহিত খর্বতার (dwarfism) সম্পর্ক সম্বন্ধে বৈজ্ঞানিকেরা সন্দিহান।

কাণ্ড বৃদ্ধি ছাড়াও জিব্বেরেলীন উদ্ভিদপত্রের আয়তন বৃদ্ধিতে সক্ষম। অনেকক্ষেত্রে বহির্জনিষ্ণু জিব্বেরেলীন প্রয়োগে ফুল এবং ফলের আয়তন ও বৃদ্ধি পায়।

একাধিক দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদের (long-day plants) পুষ্প প্রস্ফুটনে নিম্ন উষ্ণতার (2 – 4°C) প্রয়োজন। নিম্ন উষ্ণতার অভাবে কাণ্ডের বৃদ্ধি বাধাপ্রাপ্ত হয় এবং গোলাপের পাঁপড়ির ন্যায় (rosette) পত্র-বিন্যাস পরিলক্ষিত হয়। পুষ্প প্রস্ফুটনের সময় কাণ্ড বৃদ্ধি পায়। উপরোক্ত উদ্ভিদে নিম্ন উষ্ণতার পরিবর্তে জিব্বেরেলীন প্রয়োগে উপরোক্ত বৃদ্ধি ও পুষ্প প্রস্ফুটন (bolting) ঘটিয়া থাকে।

জিব্বেরেলীন একাধিক বীজ ও মুকুলের সুপ্তাবস্থা (dormancy) ভঙ্গ করিতেও সক্ষম। যে সমস্ত বীজে ও মুকুলে স্বল্প অন্তর্জনিষ্ণু জিব্বেরেলীন বর্তমান সেই সমস্ত ক্ষেত্রে বহির্জনিষ্ণু জিব্বেরেলীন প্রয়োগ করিয়া বীজ ও মুকুলের সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ করা যায়।

বীজ অঙ্কুরোদ্গম কালে ভ্রূণ হইতে প্রাকৃতিক জিব্বেরেলীন নিঃসৃত হয় সেই জিব্বেরেলীন সস্যের (endosperm) খাদ্য পরিপাকের জন্য α-অ্যামাইলেজের কার্যকারিতাকে বৃদ্ধি করে। সুতরাং বীজ হইতে ভ্রূণকে অপসারণ করিয়া সস্যের বহির্জনিষ্ণু জিব্বেরেলীন প্রয়োগ করিয়া α-অ্যামাইলেজের কার্য-

কারিতা বৃদ্ধি করা সম্ভব। ∝-অ্যামাইলেজের কার্যকারিতা জিব্বেরেলীনের পরিমাণের উপর নির্ভরশীল।

মিচেল ও সহকর্মীরা (Mitchell *et al*) 1962 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, জিব্বেরেলীন কুমড়া জাতীয় উদ্ভিদে (Cucurbitaceae) লিঙ্গ নির্ধারনে সক্ষম। জিব্বেরেলীনের অধিক ঘনত্বে পুংপুষ্প ও স্বল্প ঘনত্বে স্ত্রীপুষ্প প্রস্ফুটিত হয়।

উদ্ভিদের মূলের বৃদ্ধিতে জিব্বেরেলীন বাধাদান করে।

গ. সাইটোকাইনিন (Cytokinin)

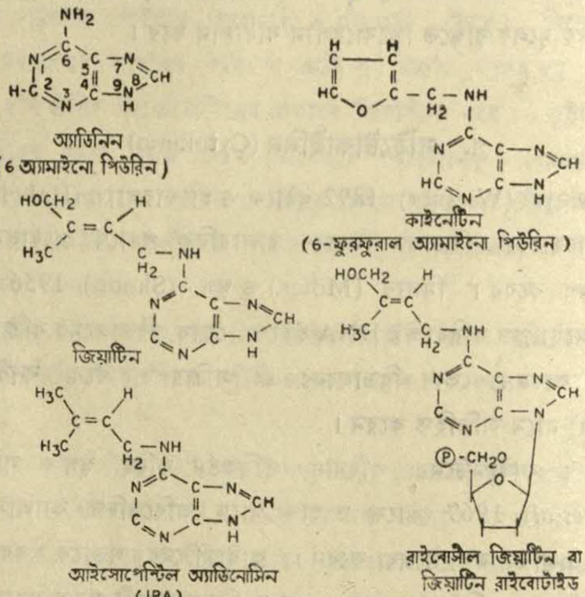
ওয়াইসনার (Wiesner) 1892 খৃষ্টাব্দে ও হ্যাভারল্যাণ্ড (Haberlandt) 1913 খৃষ্টাব্দে কোষ বিভাজন নিয়ন্ত্রণে রাসায়নিক পদার্থের প্রয়োজনীয়তার কথা উল্লেখ করেন। মিলার (Miller) ও স্কুগ (Skoog) 1956 খৃষ্টাব্দে সর্বপ্রথম অটোক্লেভ করিয়া ঈষ্ট DNA হইতে কোষ বিভাজনের সক্রিয় পদার্থ আবিষ্কার করেন। কোষ বিভাজনের এই সক্রিয় পদার্থকে **কাইনেটিন** (Kinetin) নামে অভিহিত করেন।

IAA ও কাইনেটিনের পরিমাণ পরিবর্তন করিয়া স্কুগ ও সহকর্মীরা (Skoog *et al*) 1967 খৃষ্টাব্দে তামাক গাছে অবিভেদিত ক্যালাস কোষ (callus) প্রস্তুতির কথা উল্লেখ করেন। কাইনেটিনের অভাবে অথবা অধিক কাইনেটিন ঘনত্বে বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। কোষ বিভাজনকারী সমস্ত হরমোনকেই **সাইটোকাইনিন** (cytokinins)-রূপে আখ্যা দেওয়া হয়।

কাইনেটিন উদ্ভিদ কোষে পাওয়া না গেলেও একাধিক উদ্ভিদের বিভিন্ন অঙ্গে কাইনেটিন জাতীয় শারীরবৃত্তীয় ও অঙ্গসংস্থানগত প্রভাব পরিলক্ষিত হয়। নারিকেল দুধ (তরল সস্য), ভূট্টা, কলা, আপেল প্রভৃতি অপরিণত ফলে এই জাতীয় পদার্থের কার্যকারিতা পরিলক্ষিত হয়। এই জাতীয় প্রাকৃতিক রাসায়নিক পদার্থকে একত্রে সাইটোকাইনিন আখ্যা দেওয়া হয়। সাইটো-কাইনিন সাধারণভাবে অক্সিনের সহিত যুক্ত হইয়া বিভিন্ন ঘনত্বে কোষ বিভাজনকে উদ্দীপিত করে।

সাইটোকাইনিনের রাসায়নিক গঠন (Chemical nature of cytokinins) : অধিকাংশ সাইটোকাইনিন অ্যাডিনিন (adenine) জাতীয় একটি

জাতীয় একটি নাইট্রোজেন যুক্ত পিউরিন (purine)। অ্যাডিনিনকে রসায়নগত ভাবে 6-অ্যামাইনো পিউরিন (6-amino purine) বলা হয় (চিত্র-88)। লেথাম (Letham) 1964 খৃষ্টাব্দে সুমিষ্ট ভূট্টার দানা হইতে জিয়াটীন (zeatin) নামক সাইটোকাইনিন আবিষ্কার করেন।



চিত্র-88 : বিভিন্ন সাইটোকাইনিনের রাসায়নিক গঠন।

ভুট্টার সস্য হইতে জিয়াটীন সমেত আটটি সাইটোকাইনিন আবিষ্কৃত হইয়াছে। বৈজ্ঞানিকদের মতে উদ্ভিদের সমস্ত সাইটোকাইনিনে রাইবোজ শর্করা এবং ফসফেট যুক্ত থাকে অর্থাৎ এক্ষেত্রে সাইটোকাইনিন নিউক্লিওসাইড বা নিউক্লিওটাইডের সমন্বয়ে বিদ্যমান। ভূট্টা সস্যের এই জাতীয় সাইটোকাইনিনের নাম রাইবোসীল জিয়াটীন বা জিয়াটীন রাইবোটাইড (ribosyl zeatin বা zeatin ribotide)। ডাইফিনাইল ইউরিয়াও (diphenyl urea) সাইটোকাইনিনের ন্যায় কার্য করে। ইহা অবশ্য পিউরিন-জাতীয় নয়।

বিভিন্ন সাইটোকাইনিনের রাসায়নিক গঠন চিত্র-88 দেখানো হইল।

উদ্ভিদে সর্বাপেক্ষা অধিক বিস্তৃত সাইটোকাইনিনের নাম আইসোপেন্টানীল অ্যাডিনোসিন (isopentenyl adenosine বা IPA)। উহা উদ্ভিদ ও প্রাণীর tRNA-তে বিদ্যমান।

কৃত্রিম সাইটোকাইনিন (Synthetic cytokinins): অধিকাংশ প্রাকৃতিক সাইটোকাইনিনে অ্যাডিনিন বর্গ উপস্থিত। একাধিক কৃত্রিম রাসায়নিক পদার্থ সাইটোকাইনিনের ন্যায় কার্য করে। কৃত্রিম সাইটোকাইনিনে অ্যাডিনিনে বর্গ (যেমন কাইনেটিন) অথবা ফিনাইল ইউরিয়া (phenyl urea) বর্গ উপস্থিত থাকে।

সাইটোকাইনিনের হরমোন ভূমিকার জন্য অ্যাডিনিন অপরিহার্য এবং ফুরফুরাল পার্শ্ব শৃঙ্খল অন্যান্য বর্গদ্বারা প্রতিস্থাপিভ হয়। পার্শ্ব শৃঙ্খলের দৈর্ঘ্য এবং পার্শ্ব শৃঙ্খলের দ্বি-বন্ধের উপস্থিতি সাইটোকাইনিনের কার্যকারিতার বৃদ্ধি করে। জিয়াটীন ও IPA প্রভৃতি অবৃত্তাকার পার্শ্ব শৃঙ্খলের কার্বন সংখ্যা সাধারণতঃ 5 এবং কার্বন সংখ্যা বৃদ্ধির ফলে সাইটোকাইনিনের কার্যকারিতা হ্রাস পায়। কৃত্রিম সাইটোকাইনিনের মধ্যে বেঞ্জিন বলয় পার্শ্ব শৃঙ্খলযুক্ত 6-বেঞ্জিন অ্যামাইনো পিউরিন (6-benzyl amino purine; BAP) বিশেষ কার্যকর।

সাইটোকাইনিনের জৈব সংশ্লেষ (Biosynthesis of cytokinins): সাইটোকাইনিন জৈব সংশ্লেষের বিশদ বিবরণ আদ্যাবধি অনিশ্চিত। জিয়াটীন ও অন্যান্য সাইটোকাইনিনের রাসায়নিক গঠন হইতে ইহা অনুমান করা হয় যে, অ্যাডিনিন বা অন্যান্য পিউরিন বা t-RNA সংশ্লেষের ন্যায় সাইটোকাইনিন কোষে বিপাকীয় বিক্রিয়ার সংশ্লেষিত হয়।

সাইটোকাইনিনের শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা (Physiological role of cytokinins): কোষ বিভাজনই সাইটোকাইনিনের প্রধান কার্য হইলেও মূলের ভাজক কলায় সাইটোকাইনিন প্রয়োগে কোষ বিভাজন ব্যাহত হয়। সাইটোকাইনিন ও অক্সিনের মিথষ্ক্রিয়তার ফলে কোষ বিভাজন উদ্দীপক ও প্রতিবন্ধকের কার্য করিলেও তাহাদের সঠিক কার্য পদ্ধতি অনিশ্চিত।

বীজ পরিস্ফূরণকালে ভ্রূণের নিয়ন্ত্রিত পরিস্ফূরণ সাইটোকাইনিনের প্রভাবে ঘটিয়া থাকে। নারিকেলের তরল সস্যে (cocoanut milk) একাধিক বৃদ্ধি

নিয়ন্ত্রক পদার্থ থাকায় ভ্রূণ পরিস্ফূরণে বিশেষ কার্যকর। এক্ষেত্রেও সাইটোকাইনিন অন্তর্জনিষ্ণু হরমোনের মিথষ্ক্রিয়তায় কার্যকর।

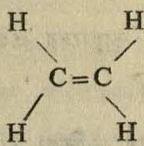
সস্য (endosperm) এবং পত্র চাকৃতির বৃদ্ধিতে সাইটোকাইনিন বিশেষ কার্যকর। কোষগুলি সম্পূর্ণ বর্দ্ধিত (mature) এবং সাধারণ অবস্থায় বৃদ্ধি পায় না। অক্সিন প্যারেন্‌কাইমা কোষের বৃদ্ধিতে সহায়করূপে কার্য করিলেও সস্য ও পত্র চাকৃতির বৃদ্ধি ঘটায় না।

সাইটোকাইনিন অপসৃত পত্রের (detached leaves) ক্লোরোফিল ভঙ্গন বিলম্বিত করে। অপসৃত পত্রে সংশ্লেষ ও ভঙ্গন পাশাপাশি সম্পন্ন হয়। অক্ষত উদ্ভিদে বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত (senscence) অবস্থায় পত্র, ফল ও অন্যান্য অঙ্গেও একই প্রকার বিপাকীয় কার্য বিদ্যমান। সাইটোকাইনিন অপসৃত পত্রে ক্লোরোফিল ভঙ্গনে এবং অক্ষত উদ্ভিদে বার্দ্ধক্য প্রাপ্ত অবস্থা বিলম্বিত করে।

সাইটোকাইনিনের উপরোক্ত কার্যকারিতা হইতে ইহা নিশ্চিত প্রমাণিত হয় যে, সাইটোকাইনিন উদ্ভিদে একাধিক কার্যকারিতার প্রয়োজনীয়। সাইটোকাইনিনের মৌলিক বিক্রিয়াগুলি বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রক, পুষ্ট ও পরিবেশের একাধিক প্রভাব দ্বারা প্রভাবান্বিত। সাইটোকাইনিন DNA ও RNA গঠনকারী অ্যাডিনিনের সহিত রাসায়নিকগতভাবে সদৃশ হওয়ায় সাইটোকাইনিনের মৌলিক প্রভাব প্রোটীন সংশ্লেষ স্তরে ঘটে বলিয়া অনেকে মনে করেন।

ঘ. ইথিলীন (Ethylene)

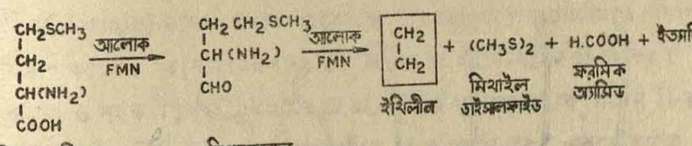
সাধারণ উষ্ণতায় ইথিলীন একটি গ্যাস সুতরাং ইহা একটি গ্যাসীয় হরমোন। অক্সিন, জিব্বেরেলীন, সাইটোকাইনিন প্রভৃতি গতানুগতিক উদ্ভিদ হরমোনের ন্যায় ইহা জটিল নয়। গ্যাসীয় হওয়ায় এই জাতীয় হরমোনের বিশেষ কতকগুলি সুবিধা পরিলক্ষিত হয়। ইহারা অন্যান্য হরমোন অপেক্ষা জীব কোষে অতি সহজে ভেদ্য। সাধারণ শারীরবৃত্তীয় কার্যে ইথিলীনের ভূমিকা খুব স্পষ্ট না হইলেও বহির্জনিষ্ণু ইথিলীনের প্রভাবে উদ্ভিদের একাধিক শারীরবৃত্তীয় প্রভাব পরিলক্ষিত হয়।



চিত্র-89 : ইথিলীনের রাসায়নিক গঠন।

বর্তমানে নানাবিধ পরীক্ষায় প্রমাণিত যে, ইথিলীন উদ্ভিদে বিপাকীয় বিক্রিয়ার ফলে উদ্ভব হয়। উদ্ভিদের বর্দ্ধিষ্ণু ফলে (ripening fruits) অধিক মাত্রায় ইথিলীন প্রস্তুত হয় এবং ফলের কোষ মধ্যবর্তী স্থানে সঞ্চিত থাকে। বর্দ্ধিষ্ণু ফল ব্যতীত পুষ্প, কাণ্ড, পত্র এবং মূলেও ইথিলীন সংশ্লেষিত হয়।

ইথিলীনের জৈব সংশ্লেষ : রাসায়নিকভাবে ইথিলীন অতীব সরল এবং কোষে অতি সহজেই উৎপাদিত হইলেও তাহাদের জৈব সংশ্লেষ পদ্ধতিটি এখনও সম্পূর্ণ জ্ঞাত নয়। কোষে ইথিলীন মিথাওনীন (methionine) নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে সংশ্লেষ হয়। সুদূর লাল তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক এবং ফ্ল্যাভিন মনোনিউক্লিওটাইড (FMN) নামক উৎসেচকের প্রভাবে কোষে ইথিলীন সংশ্লেষ দ্রুত হয়। ইথিলীন সংশ্লেষের বিপাকীয় পদ্ধতিটি নিম্নে দেখানো হইল।



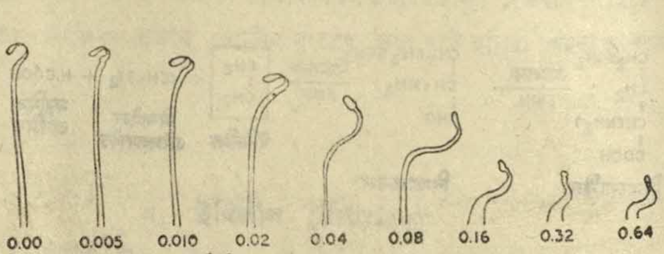
চিত্র-90 : ইথিলীনের জৈব সংশ্লেষ পদ্ধতি।

উদ্ভিদ কোষের বাহিরে (*in vitro*) লাইনোলেনিক অ্যাসিড নামক 18 কার্বন বিশিষ্ট অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড ও অনেকক্ষেত্রে ইথিলীন সংশ্লেষের অগ্রবর্তী পদার্থরূপে (precursor) ব্যবহৃত হয়। কোষ প্রাচীর লিপিড সমন্বিত (লাইনোলেনিক অ্যাসিড সহ) সমন্বিত হওয়ায়, আঘাতপ্রাপ্ত বা বিক্ষত কোষ হইতে অধিক ফ্যাটি আসিড নিঃসৃত হয় এবং এই ফ্যাটি অ্যাসিড পরবর্তী পর্যায়ে ইথিলীন প্রস্তুত করে।

ইথিলীন সরল হইলেও তাহাদের এই জটিল সংশ্লেষ পদ্ধতির গুরুত্ব বৈজ্ঞানিকদের নিকট অজ্ঞাত।

ইথিলীনের শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা ইথিলীনের একাধিক শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা বিদ্যমান। শারীরবৃত্তীয় ভূমিকার মধ্যে পত্রের বক্রতা (এপিন্যাটি), পত্রমোচন, কাণ্ডের স্ফীত, কাণ্ড ও মূলের বৃদ্ধি ব্যাহত ; ফল পরিপক্কতা ও ফুলের পাঁপড়ির বিবর্ণতা (discolouration) প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য। পূর্বে বৈজ্ঞানিকেরা মনে করিতন যে, ইথিলীনের উপরোক্ত কার্যগুলি বহির্জনিষ্ণু ইথিলীনের প্রভাবে সংঘটিত হইয়া থাকে। কিন্তু ইথিলীন উদ্ভিদ কোষে সংশ্লেষিত হয় বলিয়া ইথিলীনকে বৃদ্ধি হরমোন-রূপে গণ্য করা হয়।

ইথিলীনের প্রভাবে বিবর্ণ চারগাছে বিকৃত বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয় (চিত্র-91)। কাণ্ড অক্সিনের প্রভাবে সাধারণতঃ লম্বালম্বি ভবে বৃদ্ধি পায়। কিন্তু ইথিলীনের প্রভাবে কাণ্ড অনুপ্রস্থ বা তির্যকভাবে (transverse) বৃদ্ধি পায়। ফলে, কাণ্ড স্ফীত হয়। ইথিলীন বিবর্ণ কাণ্ডে অভিকর্ষবৃত্তি (geotropism) চলনকে পরিবর্তন করে। উদ্ভিদের আনুভূমিক লতান সভাব (horizontal trailing habit) ইথিলীনের প্রভাবে ঘটে।



চিত্র-91 : বিবর্ণ মটর চারাগাছে ইথিলীনের ঘনত্বের প্রভাব। উদ্ভিদ কোষকে ইথিলীনে 48 ঘণ্টা রাখিবার 3 দিন পরের অবস্থা।

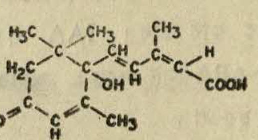
ইথিলীন উদ্ভিদের পত্র, কাণ্ড, পুষ্প ও ফলের মোচনে কার্যকর। ইথিলীন ও অক্সিনের মিথস্ক্রিয়তার ফলে উদ্ভিদের বার্দ্ধক্য (senescence) অবস্থা পরিলক্ষিত হয়।

ফল সংরক্ষণকালে ইথিলীনের ব্যবহারিক গুরুত্ব বিদ্যমান। ইথিলীন ফলের পক্কতা ত্বরান্বিত করে এবং পরিপক্ককালে ফলে ইথিলীনের পরিমাণ বৃদ্ধি পায় এবং পরিবেশে ইথিলীন নিঃসৃত হইয়া থাকে। পরিবেশ হইতে ইথিলীন অপসারণ করিলে ফলের পক্কতা বিলম্বিত হয়। সুতরাং বহির্জনিষ্ণু ইথিলীনের প্রভাবে কমলালেবু, লেবু, আঙ্গুর, কলা, আপেল, তরমুজ প্রভৃতি ফলের পক্কতা নিয়ন্ত্রণ করা যায়। নিয়ন্ত্রিত সংরক্ষণকালে ইথিলীনের পরিমাণ নিয়ন্ত্রিত করিয়া উপরোক্ত ফলের পক্কতা ত্বরান্বিত করা যায়।

ঙ. অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিড (Abscisic Acid)

উদ্ভিদ অঙ্গ মোচনে IAA ও ইথিলীনের ভূমিকা স্বীকৃত হইবার পর 1955 খৃষ্টাব্দে ওসবোর্ণ (Osborne) বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত পত্রে মোচন ত্বরান্বিত করিতে সক্ষম এমন একটি ভেদ্য রাসায়নিক পদার্থের ইঙ্গিত করেন। উপরোক্ত রাসায়নিক পদার্থটি IAA ও অন্যান্য বৃদ্ধি হরমোন হইতে পৃথক। তুলার মোচন ত্বরান্বিত করিবার রাসায়নিক পদার্থটি 1964 খৃষ্টাব্দে অ্যাডিকট ও সহকর্মীবৃন্দ (Addicott *et al*) অ্যাব্‌সিসিন I ও II রূপে আখ্যা দেন। ওয়েরিং ও ঈগলস্‌ (Wareing and Eagles) 1963 খৃষ্টাব্দে একজাতীয় ডুমুরের (*Acer*) পত্রে **ডরমিন** (dormin) নামক সুপ্ততা-প্ররোচক (dormancy-inducing) পদার্থ আবিষ্কার করেন। রাসায়নিকগতভাবে ডরমিন ও অ্যাব্‌সিসিন II অভিন্ন।

ওকুমা ও সহকর্মীবৃন্দ (Ohkuma *et al*) 1965 খৃষ্টাব্দে অ্যাব্‌সিসিন II-র রাসায়নিক গঠন নির্ণয় করেন। অ্যাব্‌সিসিন II ও ডরমিনকেই একত্রে **অ্যাব্‌-সাইসিক অ্যাসিড** (abscisic acid বা ABA) বলা হয়। অ্যাব্‌সাইসিক



চিত্র-91 : অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিডের (অ্যাব্‌সিসিন II বা ডরমিনের) রাসায়নিক গঠন।

অ্যাসিড অণুতে অপ্রতিসম (asymmetrical) কার্বন পরমাণু থাকায়

অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিডের দুইটি দৃক্ আইসোমার (optical isomer) বর্তমান। অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিডের প্রাকৃতিক গঠনটি (+) অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিড ও কৃত্রিম গঠনটি হইল (−) অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিড। অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিডের রাসায়নিক গঠন চিত্র-91-এ দেখানো হইল।

অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিডের জৈব সংশ্লেষ: গঠনগতভাবে উদ্ভিদ রঞ্জক পদার্থ ক্যারটিনয়েডের সহিত সাদৃশ হওয়ায়, জিব্বেরেলীন ও ক্যারটিনয়েডের জৈব সংশ্লেষের (বিশদ জিব্বেরেলীন সংশ্লেষ চিত্র-87 দ্রষ্টব্য) সম্পর্ক বিদ্যমান। ABA উপচিতিকর ও অপচিতিকর দুইটি পদ্ধতিতে সংশ্লেষিত হইতে পারে। 15-কার্বন বিশিষ্ট অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিড উপচিতিকর পদ্ধতিতে 5-কার্বন বিশিষ্ট রাসায়নিক পদার্থ হইতে সংশ্লেষিত হয়। উদ্ভিদের তরুণ বর্দ্ধিষ্ণু অঞ্চলে (অধিক উপচিতিকর পদ্ধতি ক্রিয়াশীল হওয়ায়) উপরোক্ত উপচিতিকর পদ্ধতিতে ABA প্রস্তুত হয়। কিন্তু উদ্ভিদের বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত কোষে ক্যারটিনয়েড ভাঙ্গিয়া অপচিতিকর পদ্ধতিতে ABA সংশ্লেষিত হইয়া থাকে।

মিলবরো ও সহকর্মীবৃন্দ (Milborrow *et al*) 1972 খৃষ্টাব্দে তেজষ্ক্রিয় কার্বন (^{14}C) ব্যবহার করিয়া উপচিতিকর পদ্ধতিতে ABA সংশ্লেষ দৃঢ়ভাবে প্রমাণ করেন। ভায়ালোজ্যান্থিন (vialoxanthin) নামক ক্যারটিনয়েডের অপভ্রংশ জ্যান্থোক্সিন (xanthoxin) ABA-র ন্যায় বৃদ্ধি প্রতিবন্ধকের কার্য করিলেও জ্যান্থোক্সিন ও ABA সদৃশ কিনা তাহা বিবেচনাধীন।

অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিডের শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা: অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিড পত্র ও ফল মোচন এবং মুকুলের সুপ্ততায় বিশেষ কার্যকর। ABA-র কার্য বিভিন্ন হরমোনের মিথষ্ক্রিয়তার ফলে সম্পাদিত হয় এবং ABA সাধারণতঃ প্রতিবন্ধকের কার্য করে। IAA প্রভাবান্বিত ভ্রূণমুকুলাবরণীর সরল বৃদ্ধি বা বক্রতা ABA নষ্ট করে। অধিক IAA ঘনত্বে ABA-র প্রতিবন্ধকতা পরিলক্ষিত হয় না।

অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিড জিব্বেরেলীনের সহিতও মিথষ্ক্রিয়ভাবে ক্রিয়া করে। জিব্বেরেলীন প্ররোচিত α-অ্যামাইলেজের কার্যকারিতা ABA-র দ্বারা ব্যাহত হয়, যদিও অধিক জিব্বেরেলীন ঘনত্বে ABA-র কার্যকারিতা পরিলক্ষিত হয় না।

লেমনা (*Lemna*) নামক জলজ উদ্ভিদের পর্ণাঙ্গের (frond) বৃদ্ধি ABA-র দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হয়।

বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিডের অপর একটি বিশেষ শারীরবৃত্তীয় কার্যের কথা উল্লেখ করেন। অক্ষত পত্রে অথবা অক্ষত উদ্ভিদে জল-পীড়ন (water stress) কালে অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিডের পরিমাণ বৃদ্ধি পায় এবং রক্ষীকোষের স্ফীতি হ্রাস পায়, ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়। পত্ররন্ধ্র বন্ধের সঙ্গে সঙ্গে প্রস্বেদনও হ্রাস পায় ফলে উদ্ভিদ তাহার আভ্যন্তরীন জল রক্ষা করিতে সক্ষম হয়। ABA কিভাবে রক্ষীকোষের স্ফীতি হ্রাস করে তাহার সঠিক ব্যাখ্যা আজও অজ্ঞাত।

উদ্ভিদ হরমোনের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical application of plant hormones) : একাধিক জৈব রাসায়নিক পদার্থ উদ্ভিদে প্রয়োগ করিলে প্রাকৃতিক হরমোনের ক্রিয়া করিয়া থাকে। অধিকাংশ কৃত্রিম হরমোন কৃষি ও উদ্যান বিদ্যায় (agriculture and horticulture) ব্যাপক ব্যবহৃত হইয়া থাকে। বিগত 35 বৎসরে বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রকরূপে কৃত্রিম হরমোনগুলিকে বৈজ্ঞানিকেরা একাধিক কার্যে ব্যবহার করিয়াছেন। কৃত্রিম হরমোনগুলি অতীব স্বল্প ঘনত্বে কার্যকর এবং স্বল্প ব্যয়ে সাধিত হয় বলিয়া ইহাদের ব্যবহারিক গুরুত্ব বিদ্যমান।

(i) **শাখাকলমের সময় মূলদ্গোম** (Rooting of cuttings) : শাখা-কলম দ্বারা বংশবিস্তারের সময় অক্সিন বা অন্যান্য কৃত্রিম হরমোন প্রয়োগ করিয়া মূলদ্গোম ত্বরান্বিত করা সম্ভব। ভেন্ট (Went, 1929) এবং থিম্যান ও ভেন্ট (Thimann and Went, 1934) অক্সিনের প্রভাবে মূল সৃষ্টির কথা উল্লেখ করেন।

IAA ব্যতীত IBA ও NAA প্রভৃতি কৃত্রিম হরমোনও মূলদ্গোমে ব্যবহৃত হয়।

শাখাকলম দ্বারা একটি উদ্ভিদ হইতে একই বৈশিষ্ট্য পূর্ণ একাধিক সদৃশ উদ্ভিদ উৎপন্ন করা সম্ভব। উপরোক্ত পদ্ধতিতে উদ্ভিদের কোন বিশেষ আকাঙ্খিত বৈশিষ্ট্য জনু পরম্পরায় বজায় রাখা সম্ভব।

(ii) **ক্যাম্বিয়াম-কার্যকারিতা নিয়ন্ত্রণ** (Controlling cambial

activity) : কষ্ঠল উদ্ভিদের মূল ও কাণ্ডের পরিধি বরাবর (girth) বৃদ্ধি ক্যাম্বিয়ামের কার্যকারিতার ফলে সম্পাদিত হয়। বৎসরের বিভিন্ন সময়ে ক্যাম্বিয়ামের কার্যের পার্থক্যের ফলে উদ্ভিদে **বার্ষিক বলয়** (annual ring) পরিলক্ষিত হয়। ক্যাম্বিয়াম কার্যকারিতার এই বিশেষ ছন্দ (rhythm) IAA-র ফলে ঘটিয়া থাকে।

(iii) **ক্যালাস প্রস্তুত ও উদ্ভিদের ক্ষতস্থান পূরণ** (Callus growth and healing of wounds) : ক্যাম্বিয়ামের কার্যকারিতায় উদ্ভিদে ক্যালাস বা ক্ষত-কোষ প্রস্তুত হইয়া ক্ষত স্থান পূরণ হয়।

উদ্ভিদ কর্তন (pruning) করিবার সময় তাহাদের ক্ষত স্থান রোগসৃষ্টিকারী জীবাণুদ্বারা আক্রান্ত হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। সাধারণ অবস্থায় ঐ আক্রমণকে রক্ষা করিবার জন্য উদ্ভিদ ক্যালাস বা ক্ষত-কোষের সৃষ্টি করে। উদ্ভিদের বাড়তি অংশ ছাঁটিয়া বাদ দিবার সময় হরমোন প্রয়োগ করিলে দ্রুত ক্যালাস কোষের সৃষ্টি হয় এবং উদ্ভিদ জীবাণু দ্বারা আক্রান্ত হইবার সম্ভাবনা হইতে রক্ষা পায়।

শিয়ার (Shear) 1936 খৃষ্টাব্দে লক্ষ্য করেন যে, শতকরা 1 ভাগ IAA প্রয়োগ করিয়া আপেল, ন্যাসপাতি ও কুল প্রভৃতি উদ্ভিদের ক্ষতস্থান পূরণ ত্বরান্বিত হয়।

(iv) **আগাছা নিয়ন্ত্রণ** (Weed control) : আগাছা কৃষি ও উদ্যান বিদ্যার একটি বিশেষ শত্রু। কৃত্রিম হরমোনগুলি ঐ আগাছা নিয়ন্ত্রণে বিশেষ ব্যবহৃত হয়। আগাছা ধ্বংস করিতে হরমোনের ব্যবহার বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ কারণ,

(ক) আগাছা ধ্বংস করিতে যে ঘনত্বে হরমোন ব্যবহৃত হয় তাহা প্রাণী বা মানুষের ক্ষেত্রে ক্ষতিকারক নয়।

(খ) হরমোন খুব স্বল্প পরিমাণে কার্যকর বলিয়া ব্যয়বহুল নয়।

(গ) মৃত্তিকায় হরমোনের ফল স্থায়ী নয়।

(ঘ) হরমোন মৃত্তিকা ও পত্রে সমভাবে ব্যবহৃত হয়।

(ঙ) বীরুৎনাশক (herbicides) রূপে যে সমস্ত হরমোন ব্যবহৃত হয় তাহারা অধিকাংশ দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদে (আগাছা) কার্যকর। ঘাস জাতীয় শস্যে তাহাদের বিশেষ কোন প্রভাব পরিলক্ষিত হয় না।

বিভিন্ন হরমোনের মধ্যে আগাছা ধ্বংস করিতে 2, 4-D

(2, 4-ডাইক্লোরোফিনক্সি অ্যাসেটিক অ্যাসিড) বিশেষ কার্যকর। MCPA (2-মেথিল, 4-ক্লোরোফিনক্সি অ্যাসেটিক অ্যাসিড) এবং 2, 4, 5-T (2, 4, 5-ট্রাইক্লোরোফিনক্সি অ্যাসেটিক অ্যাসিড) সমভাবে কার্যকর। কৃত্রিম হরমোনগুলি ব্যবহারের সময় জলে গুলিয়া শতকরা 0·17 ঘনত্বে পত্রে স্প্রে করিলে অধিক ফল লাভ সম্ভব।

উপরোক্ত হরমোনগুলির কার্যকারিতা তাহাদের মাত্রা (dose), প্রয়োগ কাল এবং পরিবেশের প্রভাবের উপর নির্ভরশীল।

(v) **স্ফীতকন্দে নবোদ্গম রোধ** (Prevention of sprouting in tubers) ঃ আলু প্রভৃতি স্ফীতকন্দে সুপ্তাবস্থা শীঘ্র ভঙ্গ হইলে কন্দের ওজন এবং শ্বেতসার (সঞ্চিত খাদ্য দ্রব্য) পরিমাণ হ্রাস পায়, ফলে কৃষকদের অসুবিধার কারণ ঘটে। গাথরি (Guthrie) 1938 খৃষ্টাব্দে আলু-কন্দের এই নবদ্গোম রোধ করিতে IAA প্রয়োগ করেন। আলুর কন্দকে লঘু IAA দ্রবণে নিমজ্জিত করিয়া রাখিলে তাহাদের নবদ্গোম রোধ হয়।

(vi) **পুষ্পারম্ভের নিয়ন্ত্রণ** (Control of floral initiation) ঃ স্যাক্স (Sachs) 1882 খৃষ্টাব্দে পুষ্প আরম্ভে হরমোনের ভূমিকার তথ্যটির কথা উল্লেখ করেন। পরবর্তীকালে চাইলাখান (Chilachjan, 1935) এবং মসকভ (Moskov, 1936) উপরোক্ত তথ্যের সমর্থন করেন। পুষ্পারম্ভের নিয়ন্ত্রণে হরমোনের ভূমিকা হিচক্‌ক ওজিম্মারম্যান(Hitchcock and Zimmerman) 1935 খৃষ্টাব্দে পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করেন। NAA ও ইথিলীন প্রয়োগ করিয়া আনারসের অঙ্গজ-মুকুল পুষ্প-মুকুলে রূপান্তরিত হয়।

পরবর্তীকালে ল্যাং (Lang) 1956-57 খৃষ্টাব্দে আলোক অনুভূতিশীল শুধুমাত্র দীর্ঘদিবা উদ্ভিদের (long-day plants) পুষ্প প্রস্ফুটনে জিব্বেরেলীনের ভূমিকার কথা উল্লেখ করেন (বিশদ্ বিবরণ অষ্টাদশ অধ্যায়ে দ্রষ্টব্য)।

(vii) **ফল পরিস্ফুরণ** (Fruit development or parthenocarpy) ঃ পূর্বে অক্সিন অংশে আলোচনা করা হইয়াছে যে, হরমোন প্রয়োগ করিয়া বীজহীন ফল (parthenocarpic fruit) উৎপাদন সম্ভব। 1936 খৃষ্টাব্দে গুস্টাফসন (Gustafson) IAA ও IBA প্রয়োগ করিয়া টমেটো গাছের বীজহীন ফল প্রস্তুত করেন। গার্ডনার ও মার্থ (Gardner and Marth) 1937 খৃষ্টাব্দে NAA প্রয়োগ করিয়া স্ট্রবেরীতে বীজহীন ফল উৎপাদন করেন।

বীজহীন ফল প্রস্তুতিতে বিভিন্ন ইণ্ডোল যৌগের মধ্যে IBA ও ন্যাপ্‌থেলীন যৌগের মধ্যে NAA সর্বাপেক্ষা অধিক কার্যকর।

(viii) **মোচন** (Abscission) : পত্র, পুষ্প ও ফলের মোচন উদ্ভিদের একটি সাধারণ ঘটনা। লাইব্যাক্ (Laibach) 1933 খৃষ্টাব্দে অক্সিন প্রয়োগ করিয়া উদ্ভিদের মোচন নিয়ন্ত্রণের কথা উল্লেখ করেন। গার্ডনারের (Gardner, 1939) মতে কৃত্রিম হরমোনও মোচন নিয়ন্ত্রণে সক্ষম। ফল সংগ্রহের পূর্বে (preharvest) ফলের মোচন ঘটিলে ফলের উৎপাদন হ্রাস পায়। সুতরাং কৃত্রিম হরমোন ব্যবহার উদ্যান বিদ্যায় (horticulture) আর্থিক গুরুত্বপূর্ণ।

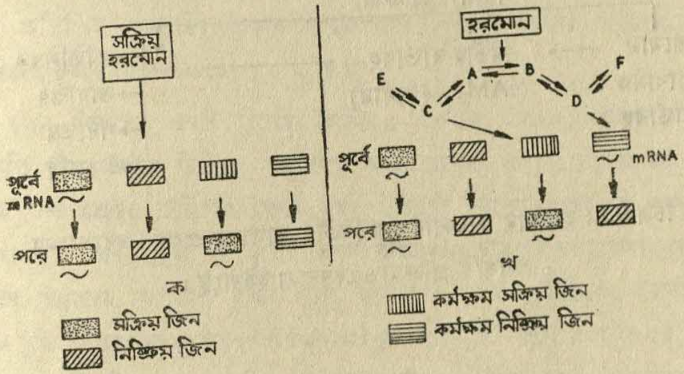
আপেল, কমলা, ন্যাসপাতি প্রভৃতি উদ্ভিদের ফলমোচন অক্সিন প্রয়োগে ব্যাহত হয়। কৃত্রিম হরমোনের মধ্যে 2, 4-D ও NAA বিশেষ কার্যকর। উদ্ভিদ অঙ্গের মোচনকালে অথবা তাহার পূর্বে হরমোন প্রয়োগ করিলে সুফল পাওয়া যায় (বিশদ্ বিবরণ অক্সিন অংশে)।

(ix) **ফলবৃদ্ধি ও পরিপক্কতা** (Fruit growth and maturation) : হরমোন ফলের আয়তন ও পরিপক্কতা নিয়ন্ত্রণ করে। হোলেট (Howlett) 1941-48 খৃষ্টাব্দে IBA প্রয়োগ করিয়া টমেটো ফলের বৃদ্ধি লক্ষ্য করেন। 2, 4-D এবং 2, 4, 5-T একাধিক উদ্ভিদের ফলের বৃদ্ধি ও পরিপক্কতা নিয়ন্ত্রণ করে।

বস্তুতপক্ষে, উদ্ভিদের অঙ্গজ ও জনন অঙ্গের বিভিন্ন গঠনে কৃত্রিম ও প্রাকৃতিক হরমোনের ভূমিকা বিদ্যমান থাকায় ইহারা কৃষি ও উদ্যান বিদ্যায় যথেষ্ট ভাবে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

উদ্ভিদ হরমোনের কার্য পদ্ধতি (Mechanism of action of plant hormones) : হরমোন সাধারণভাবে উদ্ভিদের বিভিন্ন অঙ্গ বিকাশে (development) নিয়ন্ত্রকের ন্যায় কার্য করে। অক্সিন, জিব্বেরেলীন ও সাইটোকাইনিন জিনের কার্যকারিতাকে সক্রিয় করে (activate) ; অপরপক্ষে অ্যাব্‌সাইসিক অ্যাসিড জিনের কার্যকারিতাকে অবদমন করে (repress)। হেস্ (Hess)-এর মতে উপরোক্ত হরমোনগুলি বিশেষ একটি জিনের কার্যকর স্থান সক্রিয় বা অবদমন করে। জিনের এই সক্রিয়তার ফলে কোষে বিপাকীয় পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয় এবং তাহার ফলে অন্যান্য জিনগুলি পরবর্তী পর্যায়ে সক্রিয় হয় অথবা অবদমিত হয়। অনেকে মনে করেন হরমোন

সর্বপ্রথম কোন বিশেষ বিপাকীয় কার্যকে নিয়ন্ত্রিত করে এবং তাহার ফলেই জিন সক্রিয় হয় অথবা জিনের কার্যকারিতাকে অবদমন করে। হরমোনের প্রভাবে জিনকে কার্যকর হইতে হইলে অবদমিত জিনের বাহ্যিক গঠনের (configuration) পরিবর্তন প্রয়োজন। অপরপক্ষে, ইহা সুনিশ্চিত ভাবে প্রমাণিত হইয়াছে যে, উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদে হিস্টোন (প্রোটীন) জিনের কার্যকারিতাকে অবদমিত করে। আবার অধিকাংশ উদ্ভিদ হরমোন DNA ও হিস্টোনের বন্ধন শিথিল করে। সুতরাং হরমোনের প্রভাবে অবদমিত হিস্টোন অপসারিত হইলে অনাদৃত DNA অণুতে প্রতিলিখন (transcription) সম্ভব। 1970 খৃষ্টাব্দে জেঙ্ক (Zenk), সুথারল্যাণ্ড (Sutherland) প্রভৃতি বৈজ্ঞানিকেরা ভিন্ন মত পোষণ করেন। তাঁহাদের মতে হরমোন "প্রাথমিক

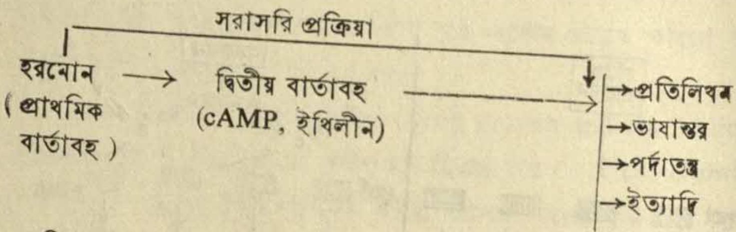


চিত্র-92 : উদ্ভিদ হরমোন কার্যকারিতার বিভিন্ন নক্শা। 'ক'- কর্মক্ষম সক্রিয় বা নিষ্ক্রিয় জিনের সক্রিয় বা নিষ্ক্রিয় অবস্থা ; 'খ'-হরমোনের কেন্দ্রীয় বিপাকীয় পদ্ধতির উপর প্রভাব এবং পরবর্তী পর্যায়ে জিনের উপর প্রভাব।

বার্তাবহের" কার্য করে। এই প্রাথমিক বার্তাবহ "দ্বিতীয় বার্তাবহ" (second messenger) প্রস্তুতিতে সহায়তা করে এবং এই দ্বিতীয় বার্তাবহই পরবর্তী কার্যের জন্য দায়ী। বর্তমানে ইহা সুনিশ্চিত ভাবে প্রমাণিত হইয়াছে যে, কোষে চক্রাকার 3-5, অ্যাডিনোসিন মনোফস্ফেট (cAMP)

একটি বিশেষ শ্রেণীর দ্বিতীয় বার্তাবহ। হরমোনগুলি কোষ-পর্দায় উপস্থিত অ্যাডিনাইল সাইক্লেজ (adenyl cyclase) নামক উৎসেচককে সক্রিয় করে এবং তাহার ফলেই ATP-র উপস্থিতিতে cAMP প্রস্তুত হয়। অতঃপর cAMP কোষে উপস্থিত বিভিন্ন উৎসেচককে সক্রিয় করে। উদাহরণস্বরূপ, ইহা সুনিশ্চিত যে, cAMP হিস্টোন প্রভৃতি প্রোটীনকে ফসফোরাসযুক্ত করিতে সাহায্যকারী কাইনেজ উৎসেচকে সক্রিয় করে। হিস্টোনের ফসফোরাস যুক্তের ফলে প্রতিলিখনের প্রতিরোধ ক্ষমতা হ্রাস করে। এই ভাবে উদ্ভিদ হরমোন cAMP নামক দ্বিতীয় বার্তাবহের মাধ্যমে জিনে কার্যকারিতা উদ্দীপিত করে।

অনেক ক্ষেত্রে ইথিলীন দ্বিতীয় বার্তাবহের ন্যায় কার্য করে।



চিত্র-93 : হরমোন কার্যকারিতায় দ্বিতীয় বার্তাবহ প্রকল্প। হরমোনের সরাসরি প্রক্রিয়াও দেখানো হইয়াছে।

সপ্তদশ অধ্যায়

বৃদ্ধিজ চলন

(Growth movements)

জীবের একটি বিশেষ বৈশিষ্ট্য হইল যে, তাহাদের বাহ্যিক ও আভ্যন্তরীন পরিবেশের পরিবর্তন উপলব্ধি করিবার ও প্রতিক্রিয়া করিবার ক্ষমতা বিদ্যমান। বাহ্যিক প্রভাবকে উদ্দীপক (stimulus) বলা হয় এবং তাহার প্রভাবে যে পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয় তাহা প্রতিক্রিয়া (response)। উদ্ভিদের এই প্রতিক্রিয়া নানাবিধ প্রকার হইতে পারে; কয়েক প্রকার উদ্দীপনায় **উদ্ভিদের চলন** (movements) সংঘটিত হয়।

চলন উদ্ভিদের একটি বিশেষ বৈশিষ্ট্য। শৈবাল, ছত্রাক, ব্যাক্টিরিয়া প্রভৃতি নিম্ন শ্রেণীর উদ্ভিদে সাধারণতঃ সমগ্র দেহের চলন পরিলক্ষিত হয়। কিন্তু উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদের ক্ষেত্রে ইহা উদ্ভিদের বিশেষ কতকগুলি অঙ্গে সীমাবদ্ধ। ভ্রূণ মুকুল বা মূলের সরল বৃদ্ধিকেও উদ্ভিদের চলন বলা যায় কারণ উহাদের অগ্রভাগ বৃদ্ধির ফলে স্থানান্তরিত হয়। উদ্ভিদের অন্যান্য চলন বৃদ্ধি হারের তারতম্যের (differential growth rate) ফলে সংঘটিত হয়। উদ্ভিদের বিপরীত পার্শ্বে বৃদ্ধির তারতম্য ঘটিলে উদ্ভিদ অঙ্গের একদিকে বক্রতা পরিলক্ষিত হয়। উদ্ভিদের এই চলনকে **বৃদ্ধিজ চলন** (growth movements) বলে।

উদ্ভিদের বৃদ্ধিজ চলন আলোক, অভিকর্ষ, স্পর্শ, জল প্রভৃতি বহিঃস্থ উদ্দীপকের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। সুতরাং এই বৃদ্ধিজ চলনগুলি অধিকাংশই আবিষ্ট (induced) প্রকৃতির। আবিষ্ট বৃদ্ধিজ চলনকে দুই ভাগে ভাগ করা যায় যেমন **ট্রপিক চলন** বা **ট্রপিজম** (Tropic movements or tropism)। এক্ষেত্রে উদ্ভিদ অঙ্গের চলন উদ্দীপকের গতিপথ অনুসারে প্রভাবিত হয়। অনেকক্ষেত্রে, উদ্ভিদ অঙ্গের চলনের গতিপথ উদ্দীপকের গতিপথ অনুসারে হয় না, অর্থাৎ উদ্দীপক যে কোন দিক হইতে আসুক না কেন উদ্ভিদ অঙ্গ একই

ভাবে একই দিকে চালিত হয়। উদ্ভিদের এই জাতীয় চলনকে **ন্যাস্টিক চলন** (nastic movements) বলা হয়। উদ্ভিদ কাণ্ডের অধিক আলোকিত স্থানে চলন আলোকবৃত্তি চলন ফোটোট্রপিজম (phototropism), এবং আলোকের প্রখরতায় পুষ্পের প্রসারণ ও সঙ্কোচন ফোটোন্যাস্টিক (photo-nastic) চলনের দৃষ্টান্ত। টিউলিপ (tulip) এবং ক্রোকাস (crocus) জাতীয় উদ্ভিদের পুষ্পের প্রসারণ ও সঙ্কোচন উষ্ণতার তারতম্যের ফলে সংঘটিত হয় বলিয়া এই চলনকে থার্মোন্যাস্টি (thermonasty) বলা হয়। উপরোক্ত ক্ষেত্রে উষ্ণতা বৃদ্ধিতে পাপড়ির ভিতর অংশের বৃদ্ধি অধিক হওয়ায় পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়। বীন গাছের (*Phaseolus vulgaris*) পত্রে আলোক ও অন্ধকারে উপাধান কোষের (pulvinus) রসস্ফীতির তারতম্য ঘটে।

কোষের রসস্ফীতির (turgidity) তারতম্যের ফলে উদ্ভিদ অঙ্গের চলনকে **প্রকারণ চলন** (movement of variation) বলা হয়। বণচাঁড়াল (*Desmodium gyrans*) প্রভৃতি উদ্ভিদের উপাধান কোষের (pulvinus) রসস্ফীতির পরিবর্তনে তাহাদের ত্রিফলক পত্রের পার্শ্বস্থ (অর্থাৎ নিচের দুইটি পত্রফলক) পত্রফলকের পর্যায়ক্রমিক চলন পরিলক্ষিত হয়। লজ্জাবতী (*Mimosa pudica*) ও অন্যান্য স্পর্শ-সংবেদী পত্রের সিসমোন্যাস্টিক (seismonastic) চলনও উপাধান কোষের রসস্ফীতির ফলে সংঘটিত হয়। লজ্জাবতীর চলন উপাধান কোষের সঙ্কোচনশীল অংশে দ্রুত জল হ্রাসের ফলে ঘটিয়া থাকে। অনেকের মতে, রসস্ফীতির পরিবর্তনের সঙ্গে কোষ গহ্বরস্থিত উপাদানের নির্গমন ঘটে (জ্যাফে ও গ্যালস্টোন ; Jaffe and Galston, 1967)। পরবর্তীকালে স্যাটার ও গ্যালস্টোন (Satter and Galston) 1971 খৃষ্টাব্দে মনে বলেন যে, পত্ররন্ধ্র বন্ধের সময় যেমন পটাশিয়ামের নির্গমন ঘটে, ঠিক তেমনি পত্র সঙ্কোচনের সময়ও পটাশিয়ামের নির্গমন হয়। অর্থাৎ সমস্ত ন্যাস্টিক চলনই বৃদ্ধিজ চলন নয়।

উদ্ভিদের আলোকবৃত্তি চলন (phototropism) এবং অভিকর্ষবৃত্তি চলন (geotropism) পরে আলোচনা করা হইল। উদ্ভিদের গর্ভমুণ্ডের মধ্যে ভ্রূণস্থলীর দিকে পরাগনালীর চলন রসায়নবৃত্তির (chemotropism) প্রকৃষ্ট উদাহরণ। পরাগনালীর চলনে রাসায়নিক পদার্থের নতিমাত্রা উদ্দীপকের কার্য করে। সূর্য-শিশিরের (*Drosera*) পত্রে উপস্থিত কর্ষিকাগুলির চলনও

রাসায়নিক দ্রব্যের উদ্দীপকের সাহায্যে সম্পন্ন হয়। মটর শুঁটি (*Pisum sativum*) প্রভৃতি উদ্ভিদের আকর্ষদ্বারা বেষ্টনাকার চলনে অবলম্বনটি যান্ত্রিক উদ্দীপকের কার্য করে বলিয়া ইহাদের থিগ্‌মোট্রপিজম্ (thigmotropism) বলা হয়।

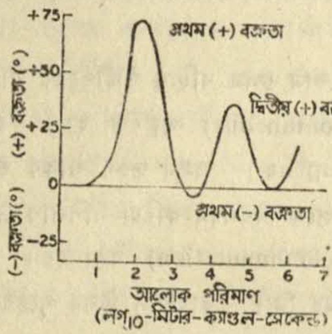
উদ্ভিদের কোন কোন চলন বহিঃস্থ উদ্দীপকের সাহায্যে সম্পাদিত না হইয়া স্বেচ্ছায় (spontaneous) সাধিত হয়। উদ্ভিদের এই চলনকে **বলন** (nutation) বলা হয়। বলন তরুণ আকর্ষ ও বল্লীতে (twiners) একই দিকে কোন বস্তুকে অবলম্বন করিয়া সর্পিলাকারে সম্পন্ন হয় বলিয়া ইহাদের **পরিবলন** (circumnutation) বলা হয়। ফার্ণ (ferns) প্রভৃতি উদ্ভিদ পত্র বৃদ্ধির সময় নিম্নের কোষগুলি উপর পৃষ্ঠের কোষ অপেক্ষা দ্রুত বৃদ্ধি পাওয়ায় পত্র গুটাইয়া যায়—পত্রের এই অসমান বৃদ্ধিকে **হাইপোন্যাস্টি** (hyponasty) বলে। পরে বিপরীত প্রক্রিয়ার ফলে পত্র ক্রমশঃ বিস্তার লাভ করে অর্থাৎ উন্মুক্ত হয়, তখন ইহাকে **এপিন্যাস্টি** (epinasty) বলা হয়।

আলোকবৃত্তি চলন (Phototropism)

একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাবে উদ্ভিদ অঙ্গের চলনকে আলোকবৃত্তি চলন (phototopism) বলা হয়। এই ধরণের চলনের বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারাই অক্সিন আবিষ্কার সম্ভব হয়। সাধারণ ভাবে একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাবে কাণ্ড আলোক উৎসের দিকে ধাবিত হয় বলিয়া কাণ্ডকে আলোক অনুকূলবর্তী চলন (positviely phototropism) বলা হয়। ভূনিম্নস্থ অঙ্গ (অর্থাৎ মূল) আলোক উৎসের বিপরীত দিকে ধাবিত হয় বলিয়া তাহাদের আলোক প্রতিকূলবর্তী চলন (negatively phototropism) বলা হয়। ইহা অবশ্য সর্বত্র প্রযোজ্য নয়। কোন কোন আকর্ষ ও কাণ্ডে আলোক প্রতিকূলবর্তী চলন, আবার একাধিক অপরিণত মূলে আলোক অনুকূলবর্তী চলন, আবার লবণাম্বুজ উদ্ভিদ মূল ও একাধিক অপরিণত মূলে আলোক অনুকূলবর্তী চলন পরিলক্ষিত হয়।

আলোকের প্রখরতা (intensity) এবং সময় (time) অর্থাৎ আলোকের পরিমাণের উপর আলোকবৃত্তি প্রতিক্রিয়া অত্যন্ত নির্ভরশীল। জই ভ্রূণ-

মুকুলাবরণীর ক্ষেত্রে আলোকের পরিমাণ বৃদ্ধিতে ভ্রূণমুকুলাবরণীর বক্রতা পরিলক্ষিত হয় (চিত্র-94)। আলোক পরিমাণ আরও বৃদ্ধি করিলে



চিত্র-94 : ভ্রূণমুকুলাবরণীর আলোকবৃত্তি চলনের সহিত আলোক পরিমাণের সম্পর্ক।

(−) বক্রতা (অর্থাৎ আলোকের বিপরীত পার্শ্বে) পরিলক্ষিত হয়। আলোক পরিমাণ আরও বৃদ্ধির ফলে দ্বিতীয়বার (+) বক্রতা দেখা যায়।

পূর্ব অধ্যায়ে অক্সিনের বিভিন্ন পরীক্ষা হইতে ইহা প্রমাণিত হইয়াছে যে, একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাবে অক্সিন ভ্রূণমুকুলাবরণীর অগ্র হইতে অন্ধকার পার্শ্বের নিম্ন কোষে স্থানান্তরিত হয়। সুতরাং উদ্ভিদের আলোকবৃত্তি চলনের সহিত অক্সিন বিশেষ সম্পর্কযুক্ত। আলোকবৃত্তি চলনে অক্সিনের ভূমিকা জই (*Avena*), ভূট্টা (*Zea mays*), গম (*Triticum*) এবং বার্লি (*Hordeum*) প্রভৃতি উদ্ভিদের ভ্রূণমুকুলাবরণী পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত। আলোকবৃত্তি চলনে অক্সিনের ভূমিকা সম্বন্ধে বৈজ্ঞানিকেরা নানাবিধ প্রস্তাব করিয়াছেন।

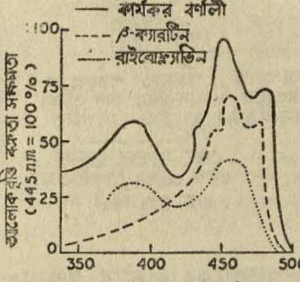
(i) চোলড্‌নি ও ভেণ্ট (Cholodny and Went) পৃথক ভাবে 1920 ও 1926 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, ভ্রূণমুকুলাবরণীতে একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাবে অক্সিনের তারতম্য ঘটে। ফলে অন্ধকার স্থানে অধিক পরিমাণ অক্সিন সঞ্চিত থাকে। সুতরাং আলোক পার্শ্ব অপেক্ষা অন্ধকার পার্শ্বে অধিক বৃদ্ধি ঘটে এবং আলোকবৃত্তি চলন পরিলক্ষিত হয়।

(ii) অনেকের মতে, আলোকের উপস্থিতিতে অক্সিন ধ্বংস প্রাপ্ত (photo-

destruction of auxin) হয় (বিশদ্ অক্সিন অংশে আলোচিত)। ফলে উদ্ভিদের আলোক ও অন্ধকার অংশে অক্সিন পরিমাণের তারতম্য পরিলক্ষিত হয়।

(iii) আলোকের উপস্থিতিতে উদ্ভিদের আলোক অংশে অক্সিন সংশ্লেষ (auxin synthesis) অন্ধকার অংশ অপেক্ষা স্বল্প পরিমাণে ঘটে।

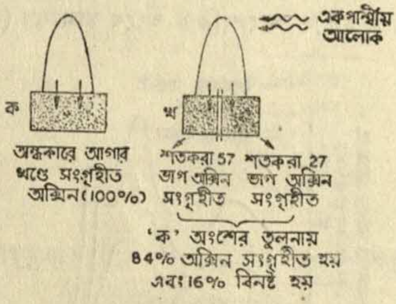
(iv) অন্ধকার অংশ হইতে আলোকিত অংশে স্থানান্তর (আলোচিত) হয়।



চিত্র-95 : জই ভ্রূণমুকুলাবরণীর কার্যকর বর্ণালীর সহিত β-ক্যারটিন ও রাইবোফ্ল্যাভিনের শোষণ বর্ণালীর আন্তসম্পর্ক।

আলোকবৃত্তি চলনে বিভিন্ন আলোকে কার্যকর বর্ণালী (action spectra) পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, লাল আলোকে আলোকবৃত্তি চলনের কোন প্রভাব পরিলক্ষিত হয় না। 1961 খৃষ্টাব্দে থিম্যান ও কারী (Thimann and Curry) প্রমাণ করেন যে, জই ভ্রূণমুকুলাবরণীর (+) বক্রতা তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের নীল অংশে অধিক কার্যকর। উদ্ভিদের বিভিন্ন রঞ্জক পদার্থের শোষণ বর্ণালী (absorption spectra) পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে, ক্যারটিনয়েড ও রাইবোফ্ল্যাভিন এই দুইটি রঞ্জক পদার্থের শোষণ বর্ণালী তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের নীল অংশে সর্বাপেক্ষা অধিক (চিত্র-95)। উদ্ভিদ কাণ্ডে কার্য বর্ণালী (action spectrum) পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, উপরোক্ত দুইটি তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে উদ্ভিদ কাণ্ডে আলোকবৃত্তি চলন সর্বাধিক। সুতরাং আলোকবৃত্তি চলনে উপরোক্ত রঞ্জক পদার্থ দুইটিই আলোক গ্রাহক (photoreceptor) রূপে কার্য করিতে পারে। চিত্র-95 হইতে স্পষ্ট প্রমাণিত হয় যে, জই ভ্রূণমুকুলাবরণীর বক্রতার কার্য বর্ণালী ও β-ক্যারটিনের শোষণ বর্ণালীর সঙ্গে

সঙ্গতি পূর্ণ সামঞ্জস্য পরিলক্ষিত হয়। উভয় বর্ণালীর সামঞ্জস্য তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের 400-500 nm অংশে বিশেষভাবে উপস্থিত। রাইবোফ্ল্যাভিনের ক্ষেত্রে 360 ও 460 nm তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে উভয় বর্ণালীর মধ্যে একটি সামঞ্জস্য পরিলক্ষিত হয়।



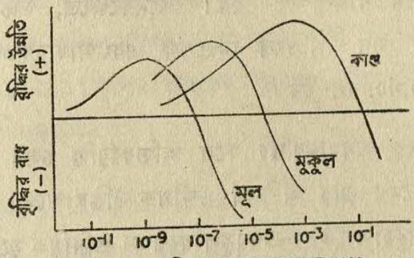
চিত্র-96 : একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাবে অন্ধকার অংশে অধিক অক্সিন সঞ্চিত হয় (ভেন্টের মূল পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত)।

ক্যারটিনয়েড বা রাইবোফ্ল্যাভিন কর্তৃক আলোক শোষিত হইবার পর অক্সিনের পার্শ্বীয় স্থানান্তরণ (lateral transport) ঘটে এবং অন্ধকার ও আলোক অংশে অক্সিন পরিমাণের তারতম্য পরিলক্ষিত হয়। ইহার ফলে অক্সিনের অধিক সঞ্চয় স্থানে বৃদ্ধি ত্বরান্বিত হওয়ায় ভ্রূণমুকুলাবরণী আলোকের দিকে সঞ্চালিত হয়।

চোলড্‌নি ও ভেন্টের তত্ত্বটি 1926 খৃষ্টাব্দে মূল ভেন্টের আগার খণ্ডে সংগৃহীত অক্সিনে পরিমাণের উপর ভিত্তি করিয়াই স্থাপিত হইয়াছে। একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাবে অন্ধকার পার্শ্বে শতকরা 57 ভাগ এবং আলোকের পার্শ্বে শতকরা 27 ভাগ অক্সিন সংগৃহীত হয় (চিত্র-96)।

উদ্ভিদের বিভিন্ন অঙ্গে অক্সিন ও অন্যান্য হরমোনের পরিমাণের তারতম্য পরিলক্ষিত হয়। হরমোনের এই তারতম্যের ফলেই উদ্ভিদ কাণ্ড, মূল ও অন্যান্য অঙ্গের বৃদ্ধিজ চলনের তারতম্য ঘটে। থিম্যান (Thimann) 1937 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, বহির্জনিষ্ণু অক্সিনের (exogenous auxin, IAA) প্রভাবে মূল, মুকুল ও কাণ্ডে বৃদ্ধির তারতম্য পরিলক্ষিত হয়

(চিত্র-97)। 10^{-10}M অক্সিন ঘনত্বে মূলের বৃদ্ধির উন্নতি হইলেও কাণ্ড ও মুকুলের বৃদ্ধি ঘটে না। অপরপক্ষে, 10^{-6}M ঘনত্বে কাণ্ডের বৃদ্ধি অধিক হইলেও মূল ও মুকুলের বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাবে কাণ্ড ও মূল আলোকের বিপরীত দিকে (অর্থাৎ অন্ধকার স্থানে) অক্সিনের ঘনত্ব



চিত্র-97 : অক্সিনের বিভিন্ন মোলার ঘনত্বে উদ্ভিদ মূল, মুকুল ও কাণ্ডের বৃদ্ধির উন্নতি (increase) ও বৃদ্ধির বাধ (inhibition) দেখানো হইয়াছে।

10^{-5}M (অধিক) এবং আলোকের দিকে ঘনত্ব 10^{-9}M (স্বল্প) পরিলক্ষিত হয়। 10^{-5}M ঘনত্বে কাণ্ডের বৃদ্ধি ঘটিলেও মূলের বৃদ্ধি 10^{-9}M ঘনত্বে অধিক হয়। সুতরাং একপার্শ্বীয় আলোকের প্রভাবে কাণ্ড আলোকের দিকে এবং মূল বিপরীত দিকে সঞ্চালিত হয়।

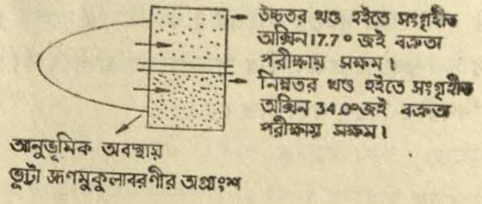
অভিকর্ষবৃত্তি চলন (Geotropism)

উদ্ভিদ অঙ্গের বৃদ্ধিজ চলন অভিকর্ষের প্রভাবে সম্পন্ন হইলে তাহাকে **অভিকর্ষবৃত্তি চলন** (Geotropism) বলে। উদ্ভিদ অঙ্গের চলন মাধ্যাকর্ষের প্রভাবে নিম্নাভিমুখী হইলে তাহাকে (+) অভিকর্ষ অনুকূলবতী চলন আর অভিকর্ষের বিপরীত মুখে ঘটিলে তাহাকে (−) অভিকর্ষ প্রতিকূলবর্তী চলন বলা হয়। গ্রন্থিকাণ্ড (rhizome) বা বক্র-ধাবক (stolon) প্রভৃতি মৃত্তুগত কাণ্ড অভিকর্ষের সমকোণে বর্ধিত হয় বলিয়া এই চলনকে **ডায়াজিও**

ট্রপিক (diageotropic) চলন বলা হয়। সমকোণ ব্যতীত অন্য কোন কোণে (অর্থাৎ 0° হইতে 90° এবং 90° হইতে 180° মধ্যে) উদ্ভিদ অঙ্গ বর্ধিত হইলে তাহাকে **প্ল্যাজিও জিওট্রপিক** (plagiogeotropic) চলন বলা হয়। উদ্ভিদের পার্শ্বীয় শাখার চলন সাধারণতঃ উপরোক্ত শ্রেণীর। অধিকাংশ উদ্ভিদের প্রধানমূল (+) অভিকর্ষ অনুকূলবর্তী চলন এবং কাণ্ডে (−) অভিকর্ষ প্রতিকূলবর্তী চলন পরিলক্ষিত হয়। অনেকক্ষেত্রে, উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদের পার্শ্বীয় কাণ্ড ও মূল অভিকর্ষ নিরপেক্ষ এবং সাধারণতভাবে **অ্যাজিওট্রপিক** (ageotropic) বলা হয়।

উদ্ভিদ অঙ্গের অসমানবৃদ্ধির ফলে অভিকর্ষবৃত্তি চলন ঘটিয়া থাকে। আলোকবৃত্তি চলনের ন্যায় অভিকর্ষ উদ্দীপক উদ্ভিদ অঙ্গের অগ্র ·উপলব্ধি (perception) করিয়া থাকে। ভ্রূণমুকুলাবরণী বা প্রাথমিক মূলের অগ্র কর্তন করিলে উদ্ভিদ অঙ্গ অভিকর্ষ প্রতিক্রিয়া সাড়া দেয় না। কর্তিত অগ্রাংশ পুনস্থাপিত করিলে পুনরায় চলন পরিলক্ষিত হয়।

আলোকবৃত্তি চলনের ন্যায় অভিকর্ষবৃত্তি চলনেও অক্সিনের অসমান বণ্টন উদ্দীপকের প্রভাবে ঘটিয়া থাকে। উদ্ভিদকে আনুভূমিকভাবে (horizontally)



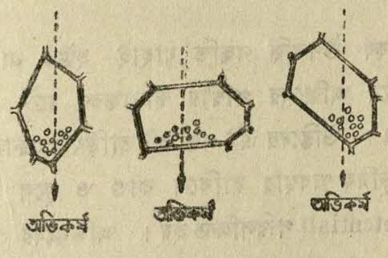
চিত্র-98 : আনুভূমিক অবস্থায় ভ্রূণমুকুলাবরণী রাখিবার পর নিম্নতর আগার খণ্ডে অধিক পরিমাণ অক্সিন সংগৃহীত হয় (ইহা ভ্রূণমুকুলাবরণী বক্রতা পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত)।

স্থাপন করিলে অভিকর্ষক্ষেত্রে (অর্থাৎ কাণ্ড ও মূলের নিম্নাংশ) অধিক অক্সিন সাঞ্চত হয়। আনুভূমিক অবস্থায় অক্সিনের অসমান বণ্টন পদ্ধতিটি ডল্ক (Dolk)

1936 খৃষ্টাব্দে সঠিকভাবে প্রমাণ করেন। জই (*Avena*) বা ভুট্টা (*Zea mays*) ভ্রূণমুকুলাবরণীর অগ্রাংশ আনুভূমিক অবস্থায় রাখিয়া ভ্রূণমুকুলাবরণীর উচ্চতর ও নিম্নতর অংশে স্থাপিত দুইটি আগার খণ্ডে অক্সিন সংগৃহীত করা হয় (চিত্র-98)। পরে ঐ দুইটি আগার খণ্ডের অক্সিন বক্রতা পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে, নিম্নতর খণ্ডে অধিক অক্সিন সঞ্চিত হয়।

সুতরাং অভিকর্ষের প্রভাবে অক্সিনের পার্শ্বীয় স্থানান্তকরণ ঘটে এবং অভিকর্ষের দিকে অধিক অক্সিন সঞ্চিত হয়। মূলের বৃদ্ধি স্বল্প ঘনত্বে অধিক হওয়ায় (চিত্র-97 দ্রষ্টব্য); মূলের উপরের অংশের বৃদ্ধি অধিক হয়, ফলে মূল অভিকর্ষের দিকে সঞ্চালিত হয়।

অভিকর্ষ উপলব্ধি (Geoperception) : আলোকবৃত্তি চলনের ন্যায় অভিকর্ষবৃত্তি চলনেও অক্সিনের স্থানান্তরণ সঠিকভাবে প্রমাণিত হয় নাই। অভিকর্ষের ফলে উদ্ভিদে অভিকর্ষ উপলব্ধি (geoperception) পদ্ধতি বিদ্যমান। ভ্রূণমুকুলাবরণী বা মূলের অগ্রাংশ সাধারণতঃ অভিকর্ষের উত্তেজনা উপলব্ধি করিতে সক্ষম।



চিত্র-99 : বিভিন্ন অবস্থায় অভিকর্ষের প্রভাবে কোষে স্টাটোলিথের (শ্বেতসার) অবস্থান। তিনটি অবস্থাতেই কোষের নিম্নাংশে স্টাটোলিথের সঞ্চয়।

উদ্ভিদ-কোষ একাধিক উপাদান দ্বারা গঠিত। বৈজ্ঞানিকদের মতে অভিকর্ষ কোষের উপাদান স্তরের উপর কার্যকর। অভিকর্ষ উদ্ভিদ কোষের

কোষস্থ উপাদানগুলির বণ্টনে সক্রিয় অংশ গ্রহণ করে। অভিকর্ষের ফলে কোষের শ্বেতসার, মাইটোকন্ড্রিয়া [অডাস (Audus), 1962] এবং গল্‌গি বডিস [সেন-মিলার (Shen-Miller), মিলার (Miller) 1972] প্রভৃতি উপাদানগুলি নিম্নে পতিত হয়। অভিকর্ষ-প্রতিক্রিয়াশীল কোষস্থ উপাদান গুলিকে **স্টাটোলিথ** (statoliths) বলা হয় স্টাটোলিথ সমন্বিত অভিকর্ষ প্রতিক্রিয়াশীল কোষকে **স্টাটোসাইট (statocyte)** বলা হয়। পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, অভিকর্ষের ফলে কোষের যে কোন অবস্থানে শ্বেতসার জাতীয় স্টাটোলিথ কোষের নিম্নাংশে সঞ্চিত হয় (চিত্র-99)। সঞ্চিত স্টাটোলিথ পার্শ্বীয় কোষ প্রাচীরে চাপের সৃষ্টি করে এবং ফলে অভিকর্ষবৃত্তি চলন পরিলক্ষিত হয়।

পিকার্ড ও থিম্যান (Pickard and Thimann) 1966 খৃষ্টাব্দে ভূট্টা ভ্রূণমুকুলাবরণীতে প্রমাণ করেন যে, জিব্বেরেলীন ও কাইনেটিন প্রয়োগ করিলে শ্বেতসার বিনষ্টতার ফলে অভিকর্ষের প্রতিক্রিয়া ব্যাহত হয়। ইভারসেনের (Iversen, 1969) মতে শ্বেতসার পুনরুৎপাদিত না হওয়া পর্যন্ত অভিকর্ষ প্রতিক্রিয়া পরিলক্ষিত হয় না।

উদ্ভিদের অভিকর্ষ উপলব্ধি পদ্ধতি যাহাই হউক না কেন অভিকর্ষ প্রতিক্রিয়াশীল কোষে অক্সিনের পার্শ্বীয় স্থানান্তরণ ঘটে এবং অভিকর্ষবৃত্ত চলন পরিলক্ষিত হয়। উদ্ভিদের এই পদ্ধতিটি তাড়িৎ সংক্রান্ত (electrical)। উদ্ভিদ অঙ্গকে আনুভূমিক অবস্থায় রাখিলে কাণ্ড ও মূলে ভূ-তাড়িৎ বিভব (geoelectrical potential) পরিলক্ষিত হয়। অভিকর্ষের প্রভাবে অভিকর্ষ-প্রতিক্রিয়াশীল অংশ (অর্থাৎ কাণ্ড ও মূলের নিম্নাংশ) অধিক ঋণাত্মক (+) হয়। কোষে অক্সিন পৃথকীকৃত (dissociated) হইয়া ঋণাত্মক (−) আধানপ্রাপ্ত হয় এবং ভূ-তাড়িৎ বিভবে নিম্নাংশের ঋণাত্মক (+) অংশে স্থানান্তরিত হয়। কিন্তু উদ্ভিদ অঙ্গে বক্রতা আরম্ভ হইবার পূর্বে ভূ-তাড়িৎ বিভব সৃষ্টি হয় না অর্থাৎ ভূ-তাড়িৎ বিভব সৃষ্টির পূর্বে অক্সিনের পার্শ্বীয় স্থানান্তরণ ঘটে। সুতরাং অভিকর্ষের প্রভাবে অক্সিনের পার্শ্বীয় স্থানান্তরণ সম্পর্কে সঠিক ব্যাখ্যা আজও অজ্ঞাত।

আলোকবৃত্তি ও অভিকর্ষবৃত্তি চলন ব্যতীত প্ল্যাজিওজিওট্রপিক ও এপিন্যাস্টি চলনেও অক্সিনের কার্যকারিতা সম্বন্ধে বৈজ্ঞানিকেরা নানাবিধ পরীক্ষা করিয়াছেন। উপরোক্ত ক্ষেত্রে অক্সিনের চলাচল উচ্চতর অংশে হয় বলিয়া অভিকর্ষের কার্যকারিতার বিরুদ্ধে কার্য করে। এর ফলে উদ্ভিদ-অঙ্গ উল্লম্ব (vertical) এবং আনুভূমিকের (horizontal) মধ্যবর্তী কোণে বৃদ্ধি-প্রাপ্ত হয়।

অষ্টাদশ অধ্যায়

আলোকপর্যাবৃত্তি ও বাসন্তীকরণ

(Photoperiod sm and Vernalization)

কোন জীবকে সঠিকভাবে জানিতে গেলে শুধুমাত্র আণবিক পর্যায়ে অথবা কোষ কিংবা কলা পর্যায়ে আলোচনার দ্বারা সম্ভব হয় না। জীবের বিকাশের সময় তাহাদের মধ্যে যে জটিল পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয় তাহার বিশদ আলোচনা প্রয়োজন।

উদ্ভিদের অঙ্গ গঠনের বিজ্ঞানটি বর্তমানে আধুনিক বৈজ্ঞানিকদের নিকট একটি মৌলিক সমস্যা। জীবদেহে জিন (;ene) অঙ্গ গঠনে চূড়ান্ত (ult m ite) .িয়ন্ত্রণ করিলেও, অঙ্গ গঠনে জিনের আচরণ খুবই আকর্ষণীয়। উদ্ভিদের অগ্রস্থ কোষগুলি সর্বদা বিভাজিত ও বৃদ্ধি পাইয়া কাণ্ড ও পত্র সৃষ্টি করিলেও উদ্ভিদের পরিপক্ককালে অঙ্গজ অঙ্গের পরিবর্তে জনন অঙ্গের সৃষ্টি হয় অর্থাৎ পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়। জীবের বিভিন্ন বিকাশের চক্রটি বীজের অঙ্কুরোদ্গমের সঙ্গে সঙ্গে সুরু হয়। অতঃপর তারুণ্য (juv n le) ও পরিপক্কতার মাধ্যমে বার্দ্ধক্য (senescence) হয়। উদ্ভিদ পরিপক্ককালে উদ্ভিদের অঙ্গজ পর্যায় জনন পর্যায়ে রূপান্তরিত হয় এবং পুষ্পের বিকাশ ঘটে।

উদ্ভিদের অঙ্গজ পর্যায় হইতে জনন পর্যায়ের পরিবর্তন কোষে অন্তস্থঃ নিয়ন্ত্রকের (হরমোন) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হইলেও বহিঃস্থ পরিবেশের প্রভাবের উপর আন্তঃসম্পর্কিত। উদ্ভিদের বিভিন্ন অঙ্গ বিকাশের ক্ষেত্রে আলোক ও উষ্ণতা বিশেষভাবে কার্যকর। পরিবেশের বিভিন্ন প্রভাবগুলি উদ্ভিদের গঠনকর উপাদানের পরিবর্তনের মাধ্যমে বিভিন্ন সংশ্লেষ পদ্ধতি হারের পরিবর্তন সাধিত করে। অতঃপর নতুন নতুন অঙ্গ গঠনের মাধ্যমে উদ্ভিদ বৃদ্ধি ও বিকাশ নিয়ন্ত্রণে বিশেষভাবে কার্যকর। উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটনে আলোক র্যায়ের প্রভাবকে আলোকপর্যাবৃত্তি (pho o per o ism) এবং উষ্ণতা অথবা উষ্ণতা ও আলোকের প্রভাবকে মিলিতভাবে বাসন্তীকরণ (vernali-at on) বলা হয়।

আলোকপর্যাবৃত্তি (Photoperiodism)

আমাদের চারিদিকে বিভিন্ন উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে, আম, জাম, কাঁঠাল প্রভৃতি উদ্ভিদের পুষ্প গ্রীষ্মকালে আবার গাঁদা, চন্দ্রমল্লিকা, কসমস, পাথরকুচি প্রভৃতি উদ্ভিদের পুষ্প শীতকালে প্রস্ফুটিত হয়। বহু দেশে শীত ও গ্রীষ্মকালে দিবা দৈর্ঘ্যের (day length) তারতম্য পরিলক্ষিত হয়। সুতরাং এই দিবা দৈর্ঘ্য পুষ্প প্রস্ফুটনে বিশেষ কার্যকর।

দিবা দৈর্ঘ্যের পুষ্প প্রস্ফুটনের উপর প্রভাব গার্ণার ও অ্যালার্ড (Garner and Allard) 1920 খৃষ্টাব্দে সর্বপ্রথম উপলব্ধি করেন। তাঁহারা মেরীল্যাণ্ড ম্যামথ (Maryland Mammoth) নামক এক প্রকার তামাক (*Nicotiana tabacum*) ও বাইলক্সি (Biloxi) নামক সয়াবীন (*Glycine max*) উদ্ভিদগুলিতে গ্রীষ্মকালে সাধারণ বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হইলেও, শীতকাল ব্যতীত পুষ্প প্রস্ফুটিত হয় না। উপরোক্ত উদ্ভিদগুলিতে উষ্ণতা, পুষ্টি ও মৃত্তিকার আর্দ্রতা নিয়ন্ত্রণ করিলেও পুষ্প প্রস্ফুটনের কোন তারতম্য পরিলক্ষিত হয় না; কিন্তু দিবা দৈর্ঘ্য হ্রাস করায় পুষ্প প্রস্ফুটন ঘটিয়া থাকে। দিবা দৈর্ঘ্যের তারতম্য দুইটি উপায়ে করা হইয়া থাকে—

(ক) গ্রীষ্মকালে প্রাকৃতিক দিবা দৈর্ঘ্যকে হ্রাস করিয়া এবং

(খ) শীতকালে প্রাকৃতিক দিবা দৈর্ঘ্যকে কৃত্রিম আলোক প্রয়োগ করিয়া বৃদ্ধি করা হইয়া থাকে।

এক জাতীয় শাক (spinach), হেনবেন (henbane) প্রভৃতি উদ্ভিদে অপরপক্ষে, দিবা দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির ফলে পুষ্প প্রস্ফুটিত হইয়া থাকে। পুষ্প প্রস্ফুটনে দিবা দৈর্ঘ্যের এই প্রভাবকে **আলোকপর্যাবৃত্তি** বলা হয়। দিবা দৈর্ঘ্যের প্রতিক্রিয়াশীল উদ্ভিদ গোষ্ঠীকে নিম্নোক্ত তিনটি বিভাগে বিভক্ত করা যায়:

(ক) দিবা দৈর্ঘ্য হ্রাস করায় যে সমস্ত উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন ত্বরান্বিত হয় তাহাদিগকে **হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদ** (short day plants বা SDP) বলা হয়।

(খ) দিবা দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির ফলে যে সমস্ত উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন ত্বরান্বিত হয় হয় তাহাদিগকে **দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদ** (long day plants বা LDP) বলা হয়।

(গ) যে সমস্ত উদ্ভিদ দিবা দৈর্ঘ্যে প্রতিক্রিয়াশীল নয় তাহাদিগকে

দিবা নিরপেক্ষ উদ্ভিদ (day neutral plants বা DNP) বলা হয়। দিবা নিরপেক্ষ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে পুষ্প প্রস্ফুটন উদ্ভিদের বয়স, পর্বের সংখ্যা প্রভৃতি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ।

তালিকা-17 : হ্রস্ব-দিবা ও দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদের তালিকা

হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদ (Short day plants)

1. চন্দ্রমল্লিকা (*Chrysanthemum morifolium*)
2. কফি (*Coffea arabica*)
3. লালপাতা (*Euphorbia pulcherrima*)
4. সয়াবীন (*Glycine max* var : Biloxi)
5. স্ট্রবেরী (*Fragaria*)
6. তামাক (*Nicotiana tabacum* var : Maryland Mammoth)
7. কল্মী জাতীয় উদ্ভিদ (*Ipomoea hederacea*)
8. জাপানী কল্মী (*Pharbitis nil*)
9. জ্যান্থিয়াম (*Xanthium pennsylvanicum*)
10. ক্ষুদে পাতা (*Lemna perpusilla*)
11. আমন ধান (*Oryza sativa*)
12. পাট (*Corchorus capsularis*)

দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদ (Long day plants)

1. জই (*Avena sativa*)
2. কারণেশন (*Dianthus superbus*)
3. হেনবেন (*Hyoscyamus niger*)
4. পিপারমেন্ট (*Mentha piperita*)
5. মুলা (*Raphanus sativus*)
6. শাক জাতীয় উদ্ভিদ (*Spinacia oleracea*)
7. বসন্তকালীন গম (*Triticum aestirum*)
8. বসন্তকালীন রাই (*Secale cereale*)
9. মটরশুঁটি (*Pisum sativum*)
10. বসন্তকালীন বার্লি (*Hordeum vulgare* cv. Wintex)

দিবা নিরপেক্ষ উদ্ভিদ (Day neutral plants)

1. ভূট্টা (*Zea mays*)
2. শশা (*Cucumis sativus*)

তামাক (মেরীল্যাণ্ড ম্যামথ), জ্যান্থিয়াম (ওক্রা), সয়াবীন, কফি, কল্‌মী জাতীয় উদ্ভিদেরা প্রকৃত হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদ। হেনবেন, জই, মূলা প্রভৃতি দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদের উদাহরণ। দিবা নিরপেক্ষ উদ্ভিদের মধ্যে ভুট্টা, শশা প্রভৃতি উদ্ভিদ উল্লেখযোগ্য। হ্রস্ব-দিবা, দীর্ঘ-দিবা ও দিবা নিরপেক্ষ কয়েকটি উদ্ভিদের নাম তালিকা-17তে দেখানো হইল।

দিবা দৈর্ঘ্যের প্রতিক্রিয়ার উপর বিভিন্ন উদ্ভিদ প্রজাতিকে উপরোক্ত গোষ্ঠীতে বিভক্ত করিলেও একই প্রজাতির বিভিন্ন স্ট্রেনের (strain বা variety) মধ্যে দিবা দৈর্ঘ্যের প্রতিক্রিয়ার তারতম্য পরিলক্ষিত হয়। একই বিশেষ স্ট্রেন হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদ হইলেও সেই একই প্রজাতির অপর একটি স্ট্রেন দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদরূপে পরিগণিত হইতে পারে। অর্থাৎ দিবা-দৈর্ঘ্যের প্রতিক্রিয়া স্ট্রেনের একটি বিশেষ ধর্ম (varietal property)।

উপরোক্ত শ্রেণীবিন্যাস ছাড়াও পারকুচি (*Bryophyllum crenatum*), হাসনাহানা (*Cestrum nocturnum*) প্রভৃতি উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটনে প্রথমে দীর্ঘ-দিবা ও পরে হ্রস্ব-দিবার প্রয়োজন হয়। এই জাতীয় উদ্ভিদকে দীর্ঘ-হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদ (Long-short-day plants বা LSDP) বলা হয়। আবার ট্রাইফোলিয়াম (*Trifolium repens*), ক্যাম্পানুলা (*Campanula crenatum*) প্রভৃতি উদ্ভিদের ক্ষেত্রে প্রথমে হ্রস্ব-দিবা ও পরে দীর্ঘ-দিবার প্রয়োজন হয় বলিয়া এই জাতীয় উদ্ভিদকে হ্রস্ব-দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদ (Short-long-day plants বা SLDP) বলা হয়।

আমাদের দেশে সরকার (Sircar) এবং সরকার ও পারিজা (Sircar and Parija) উচ্চ ফলনশীল আমন ধানে হ্রস্ব-দিবা দৈর্ঘের প্রয়োজনীয়তার কথা উল্লেখ করেণ। তাঁহাদের মতে ন্যূনতম 32·2°C উষ্ণতার নিম্নে আমন ধানের পুষ্প পরিপক্কতা লাভ করে না।

পুষ্প প্রস্ফুটন ব্যতীত দিবা-দৈর্ঘ্য উদ্ভিদের একাধিক অঙ্গজ পদ্ধতিতেও কার্যকর। হ্রস্ব-দিবা প্রভাবে কোন কোন উদ্ভিদের পর্বমধ্যের দৈর্ঘ্য অতীব হ্রাস পায়। হেনবেন নামক দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদে হ্রস্ব-দিবা প্রয়োগে পর্বমধ্যের দৈর্ঘ্য অতীব হ্রাস পাইয়া গোলাপ "পাপড়ির" আকার ("rosette") ধারণ করে। স্ট্রবেরী নামক হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদে দীর্ঘ-দিবা প্রয়োগে অধিক ধাবক (runner) সৃষ্টি হইয়া থাকে। বুনো আলু (*Solanum andigena*) এবং হাতিচোক

(*Helianthus tuberosus*) উদ্ভিদে হ্রস্ব-দিবা প্রয়োগে স্ফীত কন্দ (tuber) প্রস্তুত হয়। পেঁয়াজের ক্ষেত্রে দীর্ঘ-দিবা প্রয়োগে কন্দ (bulb) প্রস্তুত হয়। কাষ্ঠল উদ্ভিদের পত্র মোচনেও দিবা-দৈর্ঘ্যের ভূমিকা রহিয়াছে।

দিবাদৈর্ঘ্য- সন্ধি বা ন্যূনতম দিবাদৈর্ঘ্য (Critical day length): উপরোক্ত তালিকার উদ্ভিদগুলিতে বিশেষ আলোক পর্যায় পরিবেশে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়। উদাহরণ স্বরূপ মেরীল্যাণ্ড ম্যামথ নামক তামাক ও জ্যান্থিয়াম উভয়ই হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদ হইলেও তামাকের ক্ষেত্রে 12 ঘণ্টা ও জ্যান্থিয়ামের ক্ষেত্রে 15·5 ঘণ্টা দিবা দৈর্ঘ্যের কমে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয় না। পুষ্প প্রস্ফুটনের জন্য যে ন্যূনতম দিবাদৈর্ঘ্য প্রয়োজন তাহাকে **দিবাদৈর্ঘ্য সন্ধি** বা **ন্যূনতম দিবা দৈর্ঘ্য** (critical day length) বলে। সুতরাং তামাক ও জ্যান্থিয়ামের ক্ষেত্রে 12 ও 15·5 ঘণ্টা যথাক্রমে দিবাদৈর্ঘ্য সন্ধি বা ন্যূনতম দিবাদৈর্ঘ্য। দিবাদৈর্ঘ্য সন্ধির নিম্ন আলোক পর্যায়ে যে সমস্ত উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটিত হয় তাহাদের SDP বলা হয়।

দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে দিবাদৈর্ঘ্য সন্ধি দীর্ঘ হইলে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়। উদাহরণস্বরূপ হেনবেন উদ্ভিদের দিবা-দৈর্ঘ্য সন্ধি 11 ঘণ্টা। সুতরাং দিবা-দৈর্ঘ্য 11 ঘণ্টার অধিক হইলে হেনবেন উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়।

জ্যান্থিয়াম ও হেনবেনের ক্ষেত্রে 14 ঘণ্টা আলোক ও 10 ঘণ্টা অন্ধকার আলোকপর্যায়ে উভয় ক্ষেত্রেই পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়। জ্যান্থিয়াম SDP উদ্ভিদ এবং ইহার দিবাদৈর্ঘ্য সন্ধি 15·5 ঘণ্টা সুতরাং 14 ঘণ্টার আলোকে ইহা প্রস্ফুটিত হয়। আবার হেনবেন LDP উদ্ভিদ এবং ইহার দিবাদৈর্ঘ্য সন্ধি 11 ঘণ্টা; সুতরাং এক্ষেত্রেও 14 ঘণ্টায় ইহা প্রস্ফুটিত হয়।

হ্রস্বদিবা উদ্ভিদে আলোক ও অন্ধকারের প্রভাব (Light and dark processes in SDP): হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদে (SDP) আলোক ও অন্ধকারের প্রভাব দীর্ঘদিবা উদ্ভিদ (LDP) অপেক্ষা বিশদভাবে আলোচিত হইয়াছে।

হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদের প্রতিক্রিয়া প্রতিদিনের আলোক বা অন্ধকার দৈর্ঘ্য অথবা আলোক ও অন্ধকারের আপেক্ষিক দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল। SDP উদ্ভিদের প্রতিক্রিয়া শুধুমাত্র আলোক দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে না। কারণ সয়াবীনের (*Glycine max*) কোন জাতিকে 12 ঘণ্টা আলোক/12 ঘণ্টা অন্ধকারের তিনটি আবর্তনে রাখিলে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়, কিন্তু উপরোক্ত উদ্ভিদকে 36 ঘণ্টা আলোক ও পরবর্তী 36 ঘণ্টা অন্ধকারে অথবা 6 ঘণ্টা আলোক ও

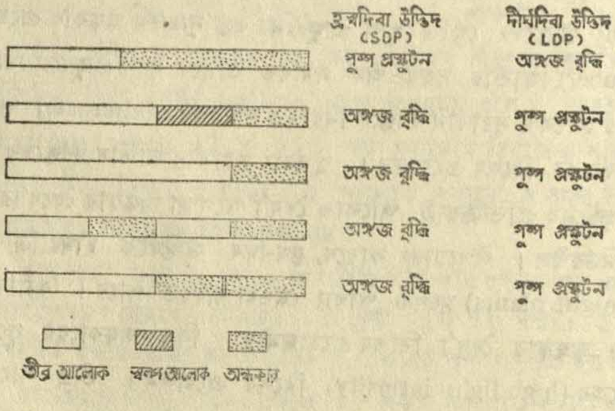
6 ঘণ্টা অন্ধকারে 6টি আবর্তনে রাখিলে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয় না। উপরোক্ত তিনটি অবস্থাতেই আলোক ও অন্ধকারের পরিমাণ সমান। এর পরবর্তী পর্যায়ে হ্যামনার (Hamner) সয়াবীনে অন্ধকারের প্রয়োজনীতার কথা উল্লেখ করেন। পুষ্প প্রস্ফুটনে যে অন্ধকার পর্যায়ের প্রয়োজন তাহাকে অন্ধকার দৈর্ঘ্য সন্ধি বা ন্যূনতম অন্ধকার দৈর্ঘ্য (critical dark period) বলা হয়। বিভিন্ন পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, সয়াবীন ও জ্যান্থিয়ামের ক্ষেত্রে ন্যূনতম অন্ধকার দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 10 ঘণ্টা ও 8 5 ঘণ্টা।

SDP উদ্ভিদের ক্ষেত্রে পুষ্প প্রস্ফুটনের জন্য ন্যূনতম অন্ধকার প্রয়োজন। কন্দ (tuber) জাতীয় সঞ্চয় অঙ্গ সমন্বিত উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটনে অবিচ্ছিন্ন অন্ধকারে হইলেও সয়াবীন উদ্ভিদে নিয়মিত পর্যায়ান্বিত (alternate) আলোক ও অন্ধকারের বিশেষ প্রয়োজন। সুতরাং সয়াবীন জাতীয় উদ্ভিদের ক্ষেত্রে পুষ্প প্রস্ফুটনের প্রতিক্রিয়াটি আলোক দৈর্ঘ্য অপেক্ষা অন্ধকার দৈর্ঘ্যের উপর বেশী নির্ভরশীল। উপরোক্ত কারণে, হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদকে দীর্ঘরাত্রি উদ্ভিদ (long night plants) রূপেও আখ্যা দেওয়া যাইতে পারে। জ্যান্থিয়ামের ক্ষেত্রেও অন্ধকার দৈর্ঘ্য বিশেষ প্রয়োজনীয়। কিন্তু অন্ধকারের পূর্বে তীব্র আলোকের (high light intinsity) বিশেষ প্রয়োজন। তীব্র আলোকের প্রভাবে SDP উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষ ঘটে; তাই তীব্র আলোকের পরিবর্তে শর্করা স্প্রে (সেচিত) (spray) করিলে একাধিক SDP উদ্ভিদে সম্পূর্ণ অন্ধকারে পুষ্প প্রস্ফুটন ঘটে। SDP উদ্ভিদে অন্ধকার পর্যায় কালেও কার্বন ডাই অক্সাইডের প্রয়োজন আছে।

SDP উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটনে অবাধ (uninterrupted) অন্ধকার পর্যায় প্রয়োজন। অন্ধকারের এই ধারাবাহিকতা স্বল্প আলোক দ্বারা ব্যাহত করিলে অন্ধকারের প্রভাব অকার্যকর হয় এবং পুষ্প প্রস্ফুটনে বাধা পায়। জ্যান্থিয়ামের ক্ষেত্রে দেখা গিয়েছে যে, 8·5 ঘণ্টা অন্ধকার পর্যায়ে এক মিনিট আলোক প্রয়োগ করিলে পুষ্প প্রস্ফুটন ব্যাহত হয়।

সুতরাং SDP উদ্ভিদের ক্ষেত্রে তীব্র আলোকের পর ন্যূনতম অন্ধকার দৈর্ঘ্য অপেক্ষা অধিক অন্ধকারের প্রয়োজন হয়। দীর্ঘ অন্ধকার পর্যায়ের প্রভাব অকার্যকর হয়। আলোকের এই বাধাদান ন্যূনতম অন্ধকার দৈর্ঘ্যে সর্বাপেক্ষা অধিক কার্যকর।

দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদের প্রতিক্রিয়া (Responses of LDP) : হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদের (SDP) ন্যায় দীর্ঘদিবা উদ্ভিদে (LDP) পুষ্প প্রস্ফুটনে অন্ধকারের কোন প্রয়োজন হয় না। উপরন্তু LDP উদ্ভিদের ক্ষেত্রে অবিচ্ছিন্ন আলোকের প্রয়োজন হয়। SDP উদ্ভিদের ন্যায় LDP উদ্ভিদেও তীব্র আলোকের প্রয়োজনীয়তা পরিলক্ষিত হয় এবং এই আলোক সালোকসংশ্লেষের মাধ্যমে কার্যকর। LDP উদ্ভিদে অবিচ্ছিন্ন আলোকের প্রয়োজন হইলেও আলোক

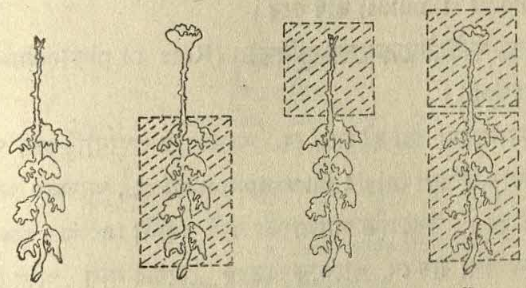


চিত্র-100 : বিভিন্ন আলোক ও অন্ধকার পর্যায়ে হ্রস্ব-দিবা ও দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদের প্রতিক্রিয়া।

ও অন্ধকারের আবর্তনেও পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়। কিন্তু দীর্ঘ অন্ধকার পুষ্প প্রস্ফুটনে ব্যাঘাত ঘটায়। দীর্ঘ অন্ধকারকে আলোকের সাহায্যে ব্যাহত করিলে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়। সুতরাং SDP এবং LDP উভয় ক্ষেত্রেই পুষ্প প্রস্ফুটন বিষয়টি বিপরীত ভাবে কার্যকর।

আলোকপর্যায় উদ্দীপক উপলব্ধির স্থান (Site of perception of the photoperiodic stimulus) : চাইলাখান (Chailachjan) নামক বৈজ্ঞানিকের মতে চন্দ্রমল্লিকা(chrysanthemum)নামক SDP উদ্ভিদে কাণ্ডের অগ্রস্থ অংশ আপক্ষিকভাবে দিবাদৈর্ঘ্য নিরপেক্ষ, কিন্তু পত্র দিবাদৈর্ঘের প্রভাবে প্রতিক্রিয়াশীল। চাইলাখানের মতে, চন্দ্রমল্লিকার পত্র ও কাণ্ডাগ্র পৃথকভাবে

হ্রস্ব ও দীর্ঘ দিবাদৈর্ঘ্য পরিবেশে রাখিয়া পরিপক্ক পত্রকে হ্রস্ব দিবা পরিবেশে রাখিলে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয় (চিত্র-101 খ ও ঘ)।



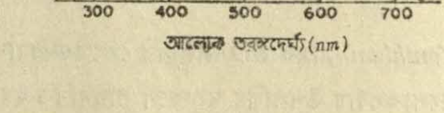
চিত্র-101 ঃ চন্দ্রমল্লিকা উদ্ভিদের উপর অন্ধকারের প্রভাব। পত্র এবং সমগ্র উদ্ভিদ (খ এবং ঘ) অংশ অন্ধকারে রাখিলে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয় কিন্তু কেবলমাত্র অগ্রাংশ (গ) অন্ধকারে রাখিলেও পুষ্প প্রস্ফুটন ঘটে না। চন্দ্রমল্লিকা হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদ বলিয়া সাধারণ অবস্থায় (ক) উহার পুষ্প প্রস্ফুটিত হয় নাই।

জ্যান্থিয়াম (*Xanthium*) নামক SD উদ্ভিদের ক্ষেত্রেও প্রমাণ করা হইয়াছে যে, উদ্ভিদ-পত্র আলোকপর্যায় উপলব্ধির স্থানরূপে পরিগণিত হয়। জ্যান্থিয়াম হ্রস্বআলোকপ্রাপ্ত পত্রকে একটি সাধারণ উদ্ভিদের সহিত জোড়কলম (grafting) করিলে উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটন পরিলক্ষিত হয়। আলোকপর্যায় উপলব্ধির স্থান পেরিলা (*Perilla*) নামক SD উদ্ভিদেও বিশদভাবে পরীক্ষা করা হইয়াছে। পেরিলা উদ্ভিদের পত্র হ্রস্ব-দিবা পরিবেশে রাখিবার পর পত্রটিকে অপর একটি পেরিলা উদ্ভিদের সহিত জোড় কলম করিবার পর দীর্ঘ দিবা পরিবেশেও উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন পরিলক্ষিত হয়। পেরিলা উদ্ভিদের বিভিন্ন জোড় কলম (grafting) পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, উদ্ভিদ পত্র হ্রস্ব-দিবা পরিবেশ অনেকক্ষণ পর্যন্ত 'স্মরণ'(remembred) রাখিতে সক্ষম। জিভার্টের(Zeevaart) মতে হ্রস্বদিবা পরিবেশ উদ্ভিদ-পত্রে আবিষ্ট (induced) হইয়া থাকে। অনুকূল

দিবাদৈর্ঘ্যের উপস্থিতিতে উদ্ভিদপত্রে এই আবিষ্ট অবস্থার সৃষ্টি হয় এবং সাধারণভাবে এই অবস্থাটি অপরিবর্তনীয়। পত্রের এই আবিষ্ট অবস্থার ফলে পরবর্তী পর্যায়ে স্থানান্তরিত হইয়া উদ্ভিদের বর্দ্ধিষ্ণু অঞ্চলে পৌছায় এবং পুষ্প উদ্দীপকের (floral stimulus) কার্য করে।

পুষ্পারম্ভে ফাইটোক্রোমের ভূমিকা (Role of phytochrome in flower initiation) :

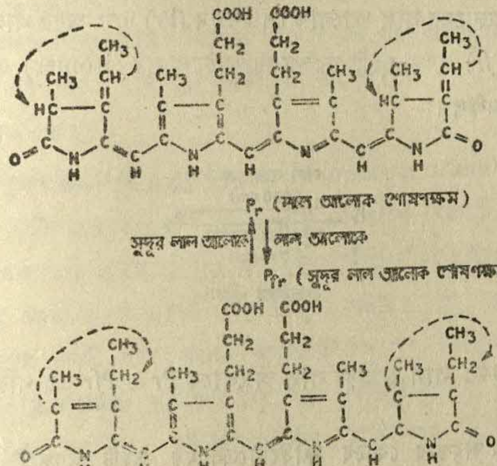
পূর্বেই আলোচনা করা হইয়াছে যে, অন্ধকারের ধারাবাহিকতা আলোক দ্বারা বাধা প্রদান করিলে (night-interruption effect), অবিচ্ছন্ন অন্ধকারের প্রভাব ব্যাহত হয়। উপরোক্ত আলোকের কার্য বর্ণালী (action spectrum) পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে, আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের লাল অংশ (640–660 nm) সর্বাপেক্ষা কার্যকর এবং সুদূর লাল (far red) আলোকে লাল আলোকের কার্যকারিতা নষ্ট হয় (চিত্র-102)। উপরোক্ত ব্যাখ্যা হইতে



চিত্র-102 : লাল ও সুদূর লাল আলোক প্রয়োগ করিয়া দুই ফাইটো-ক্রমের শোষণ বর্ণালী এবং রঞ্জক পদার্থের Pfr এবং Pr অবস্থার সৃষ্টি।

বর্থইউক ও হেনড্রিক্স (Borthwick and Hendricks) 1956 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, পুষ্প প্রস্ফুটনের রঞ্জক পদার্থটি লাল আলোক শোষিত (Pr) এবং সুদূর লাল আলোক শোষিত (Pfr) এই দুইটি অবস্থায় বর্তমান। অঙ্কুরোদ্গম ও বিভিন্ন আলোক অঙ্গসংস্থান সৃষ্টির (photomorphogenesis) ন্যায় পুষ্প আরম্ভেও লাল ও সুদূর লাল আলোক বিশেষ কার্যকর। হেণ্ড্রিকস, বাটলার (Hendricks, Bulter *et al*; 1959) উদ্ভিদপত্রে ফাইটোক্রোম

(phytochrome) নাম রঞ্জক পদার্থের শোষণ বর্ণালী (চিত্র-102) ও উপরোক্ত কার্যবর্ণালীর মধ্যে সাদৃশ্য লক্ষ্য করেন এবং এই রঞ্জক পদার্থকে ফাইটোক্রোম রূপে আখ্যা দেন। জই, ভুট্টা রাই, শম প্রভৃতি অন্ধকারে বর্ধিত কোষে ফাইটোক্রোম অধিক মাত্রায় সঞ্চিত থাকে। ফাইটোক্রোম নির্বাসিত করিয়া



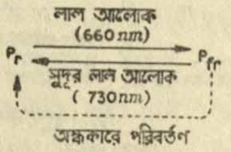
চিত্র-103 : ফাইটোক্রোম ক্রোমোফোরের রাসায়নিক গঠন।···→ তীর চিহ্নিত স্থানে হাইড্রোজেন স্থানান্তরণের ফলে Pr এবং Pfr রঞ্জক পদার্থের অবস্থা।

বর্ণালীবীক্ষণে তাহাদের আলোক শোষণ দেখানো হইল। লাল ও সুদূর লাল আলোক প্রয়োগে এই শোষণ বর্ণালীর তারতম্য পরিলক্ষিত হয়। সুদূর লাল আলোতে ফাইটোক্রোমের সর্বোচ্চ শোষণ হয় 660 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যে এবং লাল আলোক প্রয়োগে তাহাদের সর্বোচ্চ শোষণ 733 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যে পরিলক্ষিত হয়।

ফাইটোক্রোমের রাসায়নিক গঠন অতীব জটিল। ইহা একটি ক্রোমো-প্রোটীন জাতীয় রঞ্জক পদার্থ। ইহা চারিটি মুক্ত শৃঙ্খল পাইরল (open chain pyrrole) দ্বারা গঠিত। নিম্ন শ্রেণীর উদ্ভিদের (শৈবালে) ফাইকোসায়ানিন

ও ফাইকোএরিথ্রিন নামক রঞ্জক পদার্থটির রাসায়নিক গঠন ফাইটোক্রোমের ন্যায় মুক্ত শৃঙ্খল পাইরল বিশিষ্ট। ফাইটোক্রোমের লাল ও সুদূর লাল অবস্থাটি হাইড্রোজেন পরমাণুর স্থানান্তরণের ফলে সৃষ্টি হয় (চিত্র 103) বলিয়া অনুমিত হয়। উচ্চ শ্রেণীর উদ্ভিদ ব্যতীত একাধিক নিম্ন শ্রেণীর উদ্ভিদেও ফাইটোক্রোমের উপস্থিতি দেখা গিয়াছে।

ফাইটোক্রোমের লাল আলোক শোষণক্ষম (P*r*) এবং সুদূর লাল আলোক শোষণক্ষম (P*fr*) অবস্থা দুইটি পরস্পরের আইসোমার (isomer) এবং ইহারা আন্তপরিবর্তনশীল।



চিত্র-104 : লাল ও সুদূর লাল আলোকে P*r* ও P*fr*-এর পরিবর্তন।

প্রাকৃতিক অবস্থায় কোষে ফাইটোক্রোমের দুইটি অবস্থাই বিদ্যমান। দিবা শেষে অধিকাংশ P*r*-P*fr*-এ রূপান্তরিত হয়। সুদূর লাল আলোতে এবং অন্ধকারে P*fr* অবস্থাটি আবার P*r* অবস্থায় রূপান্তরিত হয়। জৈবিক কার্যে এই দুইটি অবস্থার মধ্যে P*fr* অবস্থাটি বিশেষ ভাবে গুরুত্বপূর্ণ এবং কোষে P*fr*-এর পরিমাণ আলোক ও অন্ধকার পরিবেশের উপর নির্ভরশীল।

হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদের (SDP) ক্ষেত্রে ফাইটোক্রোমের ভূমিকা নিম্নরূপ হইতে পারে। প্রথম আলোকের প্রভাবে উদ্ভিদে P*fr*-এর ঘনত্ব বৃদ্ধি পায় এবং P*fr*-P*r*-এর অনুপাত পুষ্প উদ্দীপক প্রস্তুতিতে ব্যাহত হয়। অপরপক্ষে, পরবর্তী দীর্ঘ অন্ধকারে P*fr* P*r*-এ পরিবর্তিত হয় ; ফলে P*fr*-P*r*-এর অনুপাত এমনভাবে হ্রাস পায় যে, অতি সহজেই পুষ্প উদ্দীপক প্রস্তুত করিতে পারে। সুতরাং দীর্ঘ অন্ধকারে আলোক প্রয়োগ করিলে (পূর্বে আলোচিত) পুনরায় P*r* P*fr*-এ পরিণত হয়। ফলে পুষ্প উদ্দীপক সৃষ্টিতে ব্যাহত হয়। উপরোক্ত ব্যাখ্যার সঠিক প্রমাণ আজও পাওয়া যায় নাই।

দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে (LDP) বিপরীত অবস্থা পরিলক্ষিত হয়, অর্থাৎ

Pfr-Pr-এর অনুপাত অধিক হইলে সাধারণভাবে LDP উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন সংঘটিত হয়।

1966 খৃষ্টাব্দে হান্স মোর (Hans Mohr) মনে করেন, ফাইটোক্রোম কোষের কোন নির্দিষ্ট জিনের সক্রিয়তা বৃদ্ধি করে। তাঁর মতে সাইটোক্রোম RNA, প্রোটীন ও উৎসেচক প্রস্তুতিতে সহায়তা করে।

বস্তুতঃপক্ষে উদ্ভিদ বিশেষে Pfr-Pr-এর অনুপাতের উপর পুষ্প উদ্দীপক সৃষ্টি হয় এবং পরে এই উদ্দীপক পত্র হইতে প্রান্তীয় ও অক্ষিমুকুলে স্থানান্তরিত হয়।

পুষ্প উদ্দীপক : ফ্লোরিজেন (Flowering stimulus : Florigen) : পুষ্প উদ্দীপকের উপস্থিতি সম্বন্ধে প্রায় অধিকাংশ বৈজ্ঞানিকই একমত। এই উদ্দীপক পত্রে প্রস্তুত হইয়া (পূর্বে বিশদ্ আলোচিত) প্রান্তীয় ও অক্ষিমুকুল স্থানে স্থানান্তরিত হইয়া পুষ্প প্রস্ফুটন ঘটায়। ইহা প্রমাণিত হইয়াছে যে, উদ্ভিদের একটি মাত্র পত্রের উপস্থিতিতেও পুষ্প উদ্দীপক সৃষ্টি হয়। জোড় কলম (grafting) পরীক্ষার দ্বারা ইহা প্রমাণিত হয় যে, এই উদ্দীপকটি একটি গতিশীল পদার্থ। 1936 খৃষ্টাব্দে চাইলাখান (Chailachjan) এই উদ্দীপকটিকে পুষ্প হরমোন বা **ফ্লোরিজেন** (florigen) আখ্যা দেন।

তামাক নামক SDP এবং হায়োসায়ামাস্ (*Hyoscyamus*) নামক LDP উদ্ভিদের মধ্যে জোড় কলম করিয়া উদ্ভিদটিকে হ্রস্ব-দিবা অথবা দীর্ঘ-দিবা পরিবেশে রাখিলে ঐ কলমের দুইটি সরিকেই পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়। সুতরাং SDP ও LDP উভয় ক্ষেত্রেই পুষ্প উদ্দীপকটি একই জাতীয় বলিয়া মনে করা হয়। খুব সম্ভবত দিবা নিরপেক্ষ (DNP) উদ্ভিদের ক্ষেত্রেও উদ্দীপকটি একই জাতীয়। পত্রে প্রস্তুত হইবার পর এই উদ্দীপকটি অতীব ধীর গতিতে প্রান্তীয় ভাজক কলায় স্থানান্তরিত হয়। ফারবাইটিস্ (*Pharbitis*) নামক SDP উদ্ভিদে পুষ্প উদ্দীপকের স্থানান্তকরণ গতি প্রতি ঘণ্টায় 50 cm এবং লোলিয়াম (*Lolium*) নামক LDP উদ্ভিদের ক্ষেত্রে উহার গতি ঘণ্টায় 2 cm পরিলক্ষিত হয়। এক্ষেত্রে ফ্লোয়েমের জৈব দ্রবণের পরিবহণ অপেক্ষা ইহা অতীব ধীর গতিতে সম্পন্ন হইলেও সাধারণভাবে উদ্দীপকের স্থানান্তকরণ ফ্লোয়েমের কার্বোহাইড্রেট প্রবাহের সহিত হয় বলিয়া অনেকে মনে করেন।

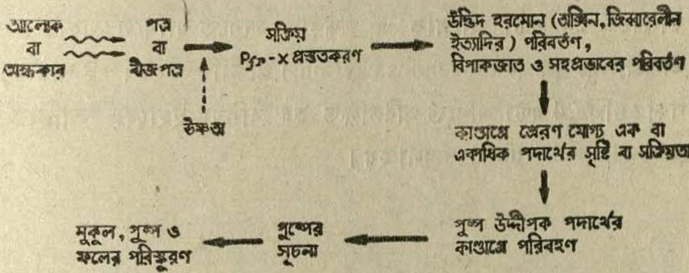
পুষ্প উদ্দীপক বা ফ্লোরিজেনের উপস্থিতি সম্বন্ধে বৈজ্ঞানিকেরা একমত

হইলেও উদ্ভিদকোষ হইতে ইহাদের সুনিশ্চিতভাবে নির্যাসিত করা সম্ভব হয় নাই। হডসন ও হ্যামনার (Hodson and Hamner) 1970 খৃষ্টাব্দে জ্যান্থিয়াম উদ্ভিদ হইতে নির্যাসিত রস দ্বারা অন্য উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটনে সমর্থ হন। লেম্না (*Lemna*) নামক জলজ উদ্ভিদেও এই নির্যাস প্রয়োগ করিলে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়। জ্যান্থিয়ামের এই নির্যাস অপক্ক জ্যান্থিয়াম উদ্ভিদে জিব্বেরেলীনের (GA_3) সহায়তায় প্রয়োগ করিলে কার্যকর হয় কিন্তু একাকী হয় না। দীর্ঘদিবা উদ্ভিদে শুধুমাত্র জিব্বেরেলীন প্রয়োগেও পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়। জিব্বেরেলীন ব্যতীত একাধিক উদ্ভিদ হরমোন বিভিন্ন প্রজাতির পুষ্প প্রস্ফুটনে কার্যকর। অ্যাডিনাইন (adenine) এবং কাইনেটীন (kinetin) জাতীয় হরমোন পেরিলা (*Perilla*) এবং জিয়াটীন (zeatin) উলফিয়া (*Wolffia*)) নামক উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটন ঘটায়। অ্যাবসাইসিক অ্যাসিড (ABA) নামক বৃদ্ধি প্রতিরোধক ফারবাইটিস্ (*Pharbitis*), ফ্রাগারিয়া (*Fragaria*) প্রভৃতি পুষ্প প্রস্ফুটন ত্বরান্বিত করে। প্রাকৃতিক হরমোনও বিশেষ উদ্ভিদ প্রজাতিতে পুষ্প প্রস্ফুটনে কার্যকর। সুতরাং পুষ্প প্রস্ফুটনে হরমোনের ভূমিকা খুবই বিতর্কমূলক এবং অদ্যাবধি পুষ্প উদ্দীপক অন্তরন ও শনাক্তকরণ সম্ভব হয় নাই।

বর্তমানে অনেক বৈজ্ঞানিক মনে করেন যে, পুষ্প উদ্দীপক পর্যায়ের মত পুষ্প প্রতিবন্ধক পর্যায়গুলি (flower inhibiting process) বিশেষভাবে কার্যকর। দুইটি শাখাবিশিষ্ট পেরিলা (*Perilla*) বা সয়াবীন (soyabean) উদ্ভিদে একটি শাখা হ্রস্ব-দিবা এবং অপর একটি শাখা দীর্ঘ-দিবা পরিবেশে রাখিলে দীর্ঘ-দিবা শাখায় পত্র অপসরণ না করিলে পুষ্প প্রস্ফুটন পরিলক্ষিত হয় না। অর্থাৎ "দাতা" (donor) শাখা হইতে পুষ্প উদ্দীপক "গ্রহীতা" (receptor) শাখায় পত্র থাকাকালীন গ্রহীতা শাখায় কোন প্রভাব বিস্তার করিতে পারে না। জোড় কলম পরীক্ষার দ্বারাও একই সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায়। সুতরাং কোন কোন SD উদ্ভিদে দীর্ঘ-দিবা পত্র পুষ্প প্রস্ফুটনে প্রতিবন্ধকের কার্য (inhibitory effect) করে। উপরোক্ত প্রতিবন্ধকের কার্য কোন নির্দিষ্ট পুষ্প প্রতিবন্ধক পদার্থ সৃষ্টির মাধ্যমে সম্পাদিত হয় বলিয়া মনে হয়। চাইলাখান ও ল্যাং-এর (Chailachjan and Lang) মতে পুষ্প উদ্দীপক হরমোন ও পুষ্প প্রতিবন্ধক পদার্থের মিথস্ক্রিয়তায় উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটন সংঘটিত হয়।

কোন কোন বৈজ্ঞানিকের মতে ফ্লোরিজেন একক ভাবে কার্য করে না। চাইলাখানের মতে অ্যান্থেসিন (anthesin) জিব্বেরেলীন এবং ফ্লোরিজেন জিব্বেরেলীনের সমতার উপর পুষ্প প্রস্ফুটন বিশেষ ভাবে কার্যকর। আনারস (pineapple) নামক উদ্ভিদে জিব্বেরেলীনের সহিত মিথষ্ক্রিয়তার ফলে ফ্লোরিজেন বা পুষ্প উদ্দীপক কার্য করে।

উদ্ভিদ পত্রে আলোক পর্যাবৃত্তির ঘটনা ধারাবাহিকতার কোন সঠিক প্রমাণ না পাইলেও ইহা বলা যায় যে, ফাইটোক্রোম দ্বারা আলোক শোষণের সঙ্গে সঙ্গে কোষে হরমোন বা বিপাকজাত পদার্থের এবং ATP, NAD^+ বা নিউক্লিওটাইড প্রভৃতি সহপ্রভাবের (cofactors) পরিবর্তন সাধিত হয়।



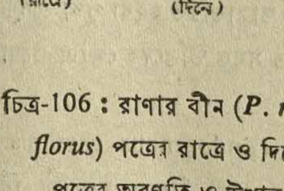
চিত্র-105 : পুষ্প প্রস্ফুটনের ধারাবাহিক ঘটনা সমূহের সারাংশ।

বিপাকীয় পদার্থের পরিবর্তনের ফলে এক বা একাধিক পদার্থ প্রস্তুত বা সক্রিয় হইয়া পত্র হইতে প্রান্তীয় ভাজক কলা স্থানে স্থানান্তরিত হইয়া পুষ্প প্রস্ফুটনে সহায়তা করে। পুষ্প প্রস্ফুটনের এই নীতি সমস্ত উদ্ভিদের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য কিনা, সে সম্বন্ধে বৈজ্ঞানিকেরা একমত নন।

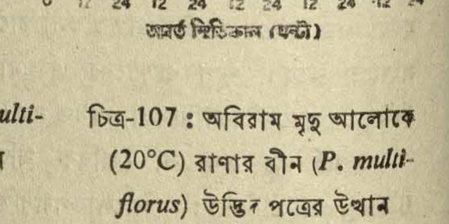
অন্তর্জনিষ্ণু ছন্দ বা জৈবিক ঘড়ি (Endogenous rhythms or Biological clock) : আলোকপর্যাবৃত্তির একটি বিশেষ লক্ষ্যণীয় বিষয় হইল যথাযতঃ সময় পরিমাপণ (time measurement)। জান্থিয়াম (*Xanthium*) নামক হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদের সঙ্কটকালীন দিবাদৈর্ঘ্য 15 ঘণ্টা 30 মি.। ঐ উদ্ভিদকে 16 ঘণ্টা আলোকে ও 8 ঘণ্টা অন্ধকারে রাখিলে অঙ্গজ বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। আলোকপর্যাবৃত্তি ব্যতীত উদ্ভিদ পত্রের আনত চলন (sleep movement), পত্রের CO_2 নির্গমন, উৎসেচক কার্যকারিতা, পুষ্পের

(পাঁপড়ির) চলন ইত্যাদি প্রক্রিয়াগুলিও সময় পরিমাপণ নির্দেশ করে। উপোরোক্ত প্রক্রিয়াগুলি আলোক ও অন্ধকারের কার্যকারিতার তারতম্য পরিলক্ষিত হয়। অর্থাৎ ইহাদের মধ্যে একটি আহ্নিক ছন্দ (diurnal pattern) পরিলক্ষিত হয়।

বুনিং (Bunning) সর্বপ্রথম উদ্ভিদে এই জাতীয় ছন্দের কথা উল্লেখ করেন। রাণার বীন (*Phaseolus multiflorus*) নামক উদ্ভিদে সকালের দিকে প্রাথমিক পত্রের উত্থান ও সন্ধ্যায় পত্রের অবণতি লক্ষ্য করেন (চিত্র-106)। রাত্রে পত্রের সর্বনিম্ন অবস্থা এবং সকালে পুনরায় পত্রের উত্থান পরিলক্ষিত হয়। রানার বীনে প্রাথমিক পত্রের এই আনত চলন উপাধানের (pulvinus) স্ফীতি দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। রাণার বীন উদ্ভিদকে 24 ঘণ্টা আলোক ও অন্ধকার আবর্তে রাখিলে তাহাদের একটি **অন্তর্জনিষ্ণু ছন্দ** (endogenous rhythms) পরিলক্ষিত হয়। এই শারীরবৃত্তীয় পদ্ধতিগুলি 24 ঘণ্টা আবর্তে পরিলক্ষিত হয় বলিয়া ইহাদের **আহ্নিক ছন্দ** (circadian rhythms) ও বলা হয়।



চিত্র-106 : রাণার বীন (*P. multiflorus*) পত্রের রাত্রে ও দিনে পত্রের অবণতি ও উত্থান।

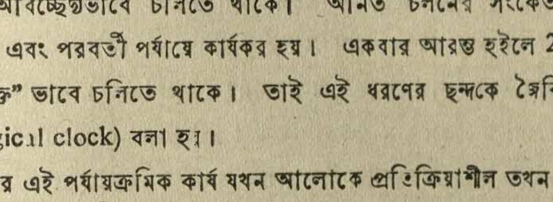


চিত্র-107 : অবিরাম মৃদু আলোকে (20°C) রাণার বীন (*P. multiflorus*) উদ্ভিদের পত্রের উত্থান (লেখের নিম্নাংশ) ও অবণতি (লেখের উর্ধ্বাংশ) লেখের সাহায্যে দেখানো হইয়াছে।

বিভিন্ন আবর্ত স্থিতিকালে (ঘণ্টা) উদ্ভিদ পত্রের অবস্থান লেখে

উপস্থাপিত করিলে তরঙ্গায়িত (sinusoidal) রেখা পরিলক্ষিত হয় (চিত্র-107)। পত্রের আনত চলন ব্যতীত পুষ্পের উন্মোচন ও সঙ্কোচন, মূলজ চাপ, বৃদ্ধি হার, উৎসেচক কার্যকারিতা, শ্বসন এবং বিভিন্ন বিপাকীয় পদ্ধতিতেও নিয়মিত আহ্নিক ছন্দতা পরিলক্ষিত হয়। প্রতি ক্ষেত্রেই এই ছন্দ শুরু করিতে একটি সংকেতের (signal) প্রয়োজন এবং একবার ছন্দ শুরু হইলে অবিচ্ছেদ্যভাবে চলিতে থাকে। আনত চলনের সংকেতটি হইল অন্ধকার এবং পরবর্তী পর্যায়ে কার্যকর হয়। একবার আরম্ভ হইলে 24 ঘণ্টায় ইহা "মুক্ত" ভাবে চলিতে থাকে। তাই এই ধরণের ছন্দকে জৈবিক ঘড়ি (biological clock) বলা হয়।

উদ্ভিদের এই পর্যায়ক্রমিক কার্য যখন আলোকে প্রতিক্রিয়াশীল তখন তাহাকে ফোটোফিলিক পর্যায় (photophilic stage) এবং অন্ধকারে প্রতিক্রিয়াশীল পর্যায়কে স্কোটোফিলিক পর্যায় (scotophilic stage) বলা হয়। এই



চিত্র-108 : ক. ফোটোফিলিক ও স্কোটোফিলিক পর্যায়। খ. 9 ঘণ্টা আলোক ও 15 ঘণ্টা অন্ধকার পর্যায়ক্রমিক প্রয়োগে উদ্ভিদের শারীরবৃত্তীয় কার্যের শুরু (হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে)। গ. উপরোক্ত স্কোটোফিলিক পর্যায়ে আলোক প্রয়োগে (15 ঘণ্টা) বিপরীত শারীরবৃত্তীয় কার্য পরিলক্ষিত হয় (দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে)।

পর্যায়গুলি প্রায় 12 ঘণ্টাকাল স্থায়ী। হ্রস্ব-দিবা ও দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদের পুষ্প প্রতিক্রিয়াকে উপরোক্ত পর্যায়ে ব্যাখ্যা করা যায়। উপরোক্ত উদ্ভিদে প্রথমে

ফোটোফিলিক পর্যায়ে ছন্দের শুরু হয় এবং পরে স্কোটোফিলিক পর্যায় কার্যকর হয়। হ্রস্ব-দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে স্বল্প ফোটোফিলিক এবং দীর্ঘ স্কোটোফিলিক আবর্তে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয় (চিত্র-108, খ)। দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে দীর্ঘ ফোটোফিলিক ও স্বল্প স্কোটোফিলিক আবর্তে প্রয়োজন (চিত্র-108, গ)।

বুনিং-এর উপরোক্ত ব্যাখ্যা ফারবাইটিস (*Pharbits*) প্রভৃতি উদ্ভিদে লক্ষ্যণীয় না হইলেও উপরোক্ত ছন্দের যৌক্তিকতা অস্বীকার করা যায় না। কোষে অন্তর্জনিষ্ণু ছন্দের স্থান বা রাসায়নিক ও ভৌতিক প্রকৃতি এখনও সম্পূর্ণ জ্ঞাত না হইলেও কোন "দোলায়মান" (oscillator) পদ্ধতি কার্যকর। এই ধরণের কার্যের কোন উষ্ণতা গুণাঙ্ক (temperature coefficient) নাই। যেহেতু এই ছন্দ কেবলমাত্র জীবকোষে প্রদর্শিত হয় সুতরাং উৎসেচকের কোন দোলায়মান কার্য এই ছন্দের সহিত জড়িত বলিয়া অনেকে মনে করেন। অনেকের মতে প্রোটীন অণুর পর্যায়ক্রমিক সঙ্কোচন ও প্রসারণের ফলেই উদ্ভিদে অন্তর্জনিষ্ণু ছন্দ পরিলক্ষিত হয়।

বাসন্তীকরণ (Vernalization): উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন দিবাদৈর্ঘ্য ব্যতীত উষ্ণতা তারতম্যেও সংঘটিত হইয়া থাকে। গ্যাসনার (Gassner) 1918 খৃষ্টাব্দে গম (*Triticum*), রাই (*Secale*) প্রভৃতি নাতিশীতোষ্ণ (temperate) অঞ্চলের উদ্ভিদে পরীক্ষা করিয়া প্রমাণ করেন যে, ঐ সমস্ত উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল। গ্যাসনার শরৎকালে রোপিত শস্যকে "শীত শ্রেণী" (winter variety) এবং বসন্তকালে রোপিত শস্যকে "বসন্ত শ্রেণী" (spring variety) নামে আখ্যা দেন। "শীত" ও "বসন্ত" শ্রেণীর গম পরবর্তী গ্রীষ্মকালে পুষ্প প্রস্ফুটিত ও পরিপক্কতা লাভ করে। শীত শ্রেণীকে পরবর্তী বসন্তকালে রোপণ করিলে তাহাদের অঙ্গজ বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। এক্ষেত্রে তাহাদের অঙ্গজ বৃদ্ধিকাল অধিক হওয়ায় পুষ্প আরম্ভ বিলম্বিত হয় এবং অতীব ঠাণ্ডা বা শুষ্কতায় তাহাদের শস্য উৎপাদন ঘটে না। গ্যাসনার লক্ষ্য করেন যে, ঐ শীত শ্রেণীর বীজকে রোপণের পূর্বে 2°-5°C উষ্ণতা প্রয়োগ করিলে তাহাদের নিম্ন উষ্ণতার প্রয়োজনীয়তা রক্ষা পায় এবং উদ্ভিদের স্বাভাবিক পুষ্প প্রস্ফুটন ঘটে। সুতরাং শীত শ্রেণীর রাই বা গমকে স্বল্প উষ্ণতা প্রয়োগ করিয়া বসন্ত শ্রেণীতে রূপান্তরিত করা সম্ভব। শীত শ্রেণীর শস্য সাধারণতঃ যে পরিবেশে পরিপক্ক হয় না, তাহা উপরোক্ত

স্বল্প উষ্ণতা প্রয়োগে সম্ভব হয়। শীত শ্রেণীর শস্যে এইভাবে বাসন্তীকরণ (vernalized) ঘটে।

গ্যাসনারের উপরোক্ত পরীক্ষা রাশিয়ার বৈজ্ঞানিক লাইসেনকো (Lysenko) 1923 খৃষ্টাব্দে বিশদভাবে পরীক্ষা করেন এবং তিনি সর্বপ্রথম এই ঘটনাকে **বাসন্তীকরণ** (vernalization) রূপে আখ্যা দেন। এখানে বাসন্তীকরণ অর্থ পুষ্প প্রস্ফুটনে শুধুমাত্র নিম্ন উষ্ণতার প্রভাবকেই গণ্য করা হইলেও নিম্ন উষ্ণতা ও দীর্ঘ দিবা উভয়ই কার্যকর।

পরবর্তীকালে 1930-40 খৃষ্টাব্দে একাধিক বৈজ্ঞানিক প্রমাণ করিয়াছেন যে, গম ও রাই ব্যতীত একাধিক শীতকালীন এক-দ্বি ও বর্ষজীবী উদ্ভিদে বাসন্তীকরণ পরিলক্ষিত হয়। শীতকালীন শস্য ব্যতীত অধিকাংশ ক্ষেত্রে পত্র-বিশিষ্ট উদ্ভিদকে বাসন্তীকরণ করিতে হয়, শীতকালীন শস্যে বীজে বাসন্তীকরণ প্রয়োজন।

উদ্ভিদে বাসন্তীকরণের সময় বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় পরিবর্তনগুলি গ্রেগরী ও পারভিস্ (Gregory and Purvis) শীত শ্রেণীর পেটকুস্ রাই (Petkus rye) উদ্ভিদে বিশদভাবে পরীক্ষা করেন। তাঁহাদের মতে বাসন্তীকরণের প্রভাব সস্যের (endosperm) পরিবর্তে ভ্রূণে (embryo) পরিলক্ষিত হয়। ভ্রূণের কোষ বিভাজনের সময় বাসন্তীকরণের প্রভাব সর্বাপেক্ষা অধিক। অনেকের মতে কাণ্ডের অগ্রাংশ (shoot apex) ঠাণ্ডায় প্রতিক্রিয়াশীল।

অধিকাংশক্ষেত্রে বাসন্তীকরণের জন্য 1 – 2°C (সেন্টিগ্রেড) উষ্ণতা প্রয়োজন হইলেও – 1°C হইতে 9°C পর্যন্ত উষ্ণতায় সমভাবে বাসন্তীকরণ ঘটে। নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োগ করিবার পর উদ্ভিদকে উচ্চ উষ্ণতায় (25 – 40°C) রাখিলে উপরোক্ত বাসন্তীকরণের প্রভাব বিনষ্ট হয়। ইহাকে **নির্বাসন্তীকরণ** (devernalization) বলা হয়।

মেলচার্স ও ল্যাং (Melcher and Lang)-এর মতে উদ্ভিদে নিম্ন উষ্ণতার ফলে ভারনালীন (vernalin) নামক এক প্রকার বৃদ্ধিজ হরমোন প্রস্তুত হয় এবং এই হরমোনই বাসন্তীকরণে পুষ্প উদ্দীপকের কার্য করে। ভারনালীনের রাসায়নিক গঠন ও কোষ হইতে নিষ্কাশন করা আজও সম্ভব হয় নাই। বাসন্তীকৃত হেনবেন (*Hyoscyamus*) উদ্ভিদের সহিত অবাসন্তীকৃত উদ্ভিদের জোড়কলম করিলে অবাসন্তীকৃত উদ্ভিদ অংশে নিম্ন উষ্ণতা

প্রয়োগ না করিয়াও পুষ্প প্রস্ফুটন পরিলক্ষিত হয়। বিভিন্ন প্রজাতির মধ্যে জোড়কলম করিয়াও পুষ্প উদ্দীপকের স্থানান্তরণ লক্ষ্য করা যায়।

পেটকুস্ রাই ও হেনবেনের ক্ষেত্রে নিম্ন উষ্ণতা উপলব্ধি উদ্ভিদের কাণ্ডাগ্রে ঘটে কিন্তু স্ট্রেপ্টোকার্পাস ওয়েণ্ডল্যাণ্ডি (*Streptocarpus wendlandii*) নামক উদ্ভিদে নিম্ন উষ্ণতা উপলব্ধি তাহাদের পত্রে ঘটে। স্ট্রেপ্টোকার্পাস উদ্ভিদ পত্রে বিভিন্ন খণ্ডাংশ এবং নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োগ করিয়া কুণ (Kuhn; 1965) বিভিন্ন পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করেন যে, উদ্ভিদের পুষ্প উদ্দীপক, ফ্লোরিজেন, ভাজক কলায় প্রস্তুত না হইয়া পত্রে প্রস্তুত হয় এবং পরে ঐ ফ্লোরিজেন পত্রের বিভিন্ন স্থান হইতে পত্রমূলে সঞ্চিত হইয়া পুষ্প প্রস্ফুটন ঘটায়। পুনরায় হেস (Hess, 1968) উপরোক্ত উদ্ভিদে ইউরাসিল (uracil) সদৃশ 2-থায়োইউরাসিল (2-Thiouracil) প্রয়োগ করিয়া নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োগে পুষ্প প্রস্ফুটন ঘটে না কিন্তু পত্রের বৃদ্ধি সাধারণ হয়। 2-থায়োইউরাসিল পুষ্প প্রস্ফুটনে mRNA সৃষ্টি ব্যাহত করে, কিন্তু পত্র প্রস্তুতির mRNA ব্যাহত করে না। উপরোক্ত পরীক্ষা হইতে ইহাও প্রমাণিত হয় যে, উদ্ভিদের বিভিন্ন অংশের সৃষ্টি তাহাদের জিনের পার্থক্যমূলক কার্যকারিতার ফলে সংঘটিত হয়।

একাধিক উদ্ভিদে নিম্ন উষ্ণতায় পুষ্প প্রস্ফুটিত হইলেও, সমস্ত উদ্ভিদের ক্ষেত্রেই নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োজন হয় না। নিম্ন উষ্ণতা-প্রয়োজনী উদ্ভিদেও পুষ্প প্রস্ফুটনে নির্দিষ্ট দিবাদৈর্ঘ্য প্রয়োজন। কোন কোন উদ্ভিদে হ্রস্ব দিবা প্রভাব নিম্ন উষ্ণতা দ্বারা প্রতিস্থাপিত (replace) হইলেও পরিশেষে দীর্ঘ-দিবার প্রভাব প্রয়োজন।

ল্যাং (Lang) 1957 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, কোন কোন দীর্ঘ-দিবা উদ্ভিদের (LDP) নিম্ন উষ্ণতার প্রয়োজনীয়তার উদ্ভিদের কাণ্ডাগ্রে জিব্বেরেলীন (GA_3) দ্বারা প্রতিস্থাপিত (replace) করা যায়। জিব্বেরেলীন ও ভারনালীনের কার্যকারিতা বিভিন্ন হইলেও জিব্বেরেলীন, ভারনালীন (পুষ্প উদ্দীপক) সৃষ্টি বা তাহাদের কার্যকারিতা ত্বরান্বিত করে। বাসন্তীকরণ পদ্ধতিতে জিব্বেরেলীনের ভূমিকা সঠিক ভাবে জানা যায় নাই।

রাশিয়ার শীত শ্রেণী গম অধিক ফলনশীল, অত্যাধিক ঠাণ্ডায় তাহাদের শরৎকালে রোপণ সার্থক হয় না। তাই এই শীত শ্রেণীকে রোপণের পূর্বে নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োগ করিয়া বসন্ত শ্রেণী রূপে ব্যবহার করা হইয়া থাকে।

সুতরাং অর্থনৈতিক দিক হইতে বাসন্তীকরণের ভূমিকা প্রভূত। বাসন্তীকরণ পদ্ধতিতে উদ্ভিদের অঙ্গজ পর্যায় হ্রাস পাইলেও উদ্ভিদের ঠাণ্ডা-সহন (cold resistance) বৃদ্ধি করে। রাশিয়া প্রভৃতি শীত প্রধান দেশে বাসন্তীকরণ কার্যকর হইলেও ভারতবর্ষের ন্যায় গ্রীষ্ম প্রধান দেশে বাসন্তীকরণের বিশেষ ভূমিকা পরিলক্ষিত হয় না। গ্রীষ্ম প্রধান দেশে শীতের তীব্রতা প্রখর নয় বলিয়া ফসলী উদ্ভিদের বিশেষ কোন ক্ষতি হয় না। উপরন্তু, ভারতবর্ষের বাসন্তীকরণের বিশেষ কোন সাফল্য লাভ হয় নাই। সেন ও চক্রবর্তীর (Sen and Chakrabarti) ভারতীয় সরিষার একটি বিশেষ শ্রেণীতে (T 102) বাসন্তীকরণের সফলতা লক্ষ্য করেন।

উনবিংশ অধ্যায়

পরিপক্কতা ও বার্দ্ধক্য

(Maturity and Senescence)

পূর্বের অধ্যায়ে উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটনের নানাবিধ তথ্য উপস্থাপিত করা হইয়াছে। বর্ষজীবী (annual) উদ্ভিদের ক্ষেত্রে পুষ্প প্রস্ফুটনের পর ফল ও বীজের বিকাশ ঘটে এবং অতঃপর উদ্ভিদের মৃত্যু ঘটে। বহুবর্ষজীবী (perennial) উদ্ভিদের ক্ষেত্রে অবশ্য পুষ্প প্রস্ফুটনের পর উদ্ভিদের মৃত্যু ঘটে না। মৃত্যুর পূর্বে উদ্ভিদ পরিপক্কতা এবং বার্দ্ধক্য প্রাপ্ত হয়। বর্ষজীবী উদ্ভিদের ক্ষেত্রে পুষ্প প্রস্ফুটন, জনন ও বীজের পরিণতির পর সমস্ত অঙ্গ বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত হইয়া উদ্ভিদের মৃত্যু ঘটে। বহুবর্ষজীবী উদ্ভিদের ক্ষেত্রে অবশ্য পুষ্প প্রস্ফুটন, জনন ও বীজ পরিণতির পর সমস্ত অঙ্গের বার্দ্ধক্য একই সঙ্গে ঘটে না। উদ্ভিদের আয়ুষ্কাল কয়েক দিন হইতে কয়েক সহস্র বৎসর পর্যন্ত হইতে পারে।

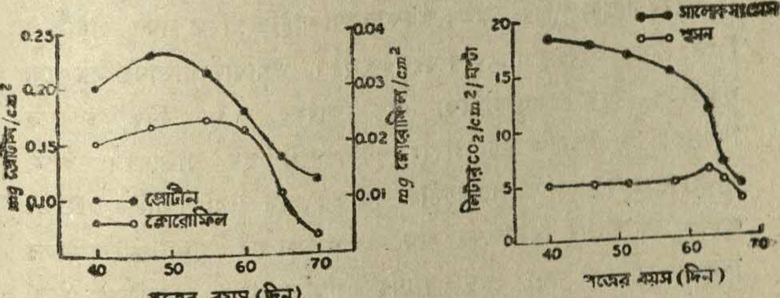
সুতরাং সমগ্র উদ্ভিদ বা উদ্ভিদ অঙ্গের মৃত্যুর পূর্বে উদ্ভিদ কোষে কতকগুলি অবনতিকর পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয়—ইহাকেই **বার্দ্ধক্য** (senescence) বলা হয়। আধিকাংশ উদ্ভিদের পত্রের আয়ুষ্কাল সীমিত। কাণ্ডের অগ্রভাগ বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বয়স্ক পত্রগুলি বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত হয় এবং ক্রমশঃ তাহাদের মৃত্যু ঘটে। উদ্ভিদ পত্রে এই ধরণের বার্দ্ধক্যকে **অনুবর্তিনী বার্দ্ধক্য** (sequential senescence) বলা হয়। নাতিশীতোষ্ণ অঞ্চলের পত্রমোচী উদ্ভিদের (deciduous tree) পত্রমোচনকে **যুগপৎ বার্দ্ধক্য** (simultaneous বা synchronous senescence) বলা হইয়া থাকে।

উদ্ভিদের অনুবর্তিনী ও যুগপৎ বার্দ্ধক্য একটি জীনগত কর্মপদ্ধতি হইলেও ইহাদের জৈবিক গুরুত্ব বর্তমান। বর্ষজীবী উদ্ভিদের পরিপক্ককালে প্রোটীন অ্যামাইনো অ্যাসিডে রূপান্তরিত হয় এবং পত্রের বার্দ্ধক্যকালে পরিস্ফুরিত বীজে স্থানান্তরিত হইয়া সঞ্চিত পদার্থ রূপে পুনরায় ব্যবহৃত হয়। সুতরাং বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত অঙ্গের পুষ্টিদ্রব্য উদ্ধার করিয়া পরবর্তী জীবনের সঞ্চয় রূপে

বীজে সঞ্চিত করে। পত্রমোচী উদ্ভিদের ক্ষেত্রে পত্রের পুষ্টিদ্রব্যগুলি পত্রমোচনের পূর্বে কাণ্ডে সঞ্চিত হয়। পত্রমোচী উদ্ভিদের পত্রমোচনের অপর একটি গুরুত্ব হইল প্রস্বেদন হারের হ্রাস করা। শীত প্রধান স্থানে শীতকালে অধিকাংশ জমিতে বরফ জমায় জলশোষণ প্রভৃতি জৈবিক বিক্রিয়াগুলি ব্যাহত হয় এবং পত্রমোচন দ্বারা উদ্ভিদ প্রতিকূল পরিস্থিতি হইতে রক্ষা পায়।

অঙ্গ-বার্দ্ধক্য (Organ senescence) : বার্দ্ধক্যের শারীরবৃত্তীয় ও জৈব-রাসায়নিক পদ্ধতিগুলি বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত পত্রের গবেষণা হইতে জ্ঞাত হইয়াছে। পত্রের ক্ষেত্রে সাধারণতঃ অনুবর্তিনী বার্দ্ধক্য পরিলক্ষিত হয়।

বার্দ্ধক্যের প্রথম নিদর্শন পত্রের পাণ্ডুরতার (yellowing) দ্বারা নির্দেশিত হয়। পত্রের পাণ্ডুরতা ক্লোরোফিল নামক সবুজ রঞ্জক পদার্থের বিনাশের ফলে ঘটে। ক্লোরোফিল বিনাশের ফলে ক্যারটিন এ জ্যান্থোফিল নামক হরিদ্রাভ রঞ্জক পদার্থ দৃষ্টিগোচর হয়। পত্র বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত হইলে ক্লোরোপ্লাসটিডের থাণার পর্দার বিনাশ ঘটে। বার্দ্ধক্যপ্রাপ্তির সঙ্গে সঙ্গে রাইবোসোম এণ্ডোপ্লাসমিক জালিকা প্রভৃতি কোষস্থ অঙ্গের বিনাশ ঘটে। বার্দ্ধক্যের প্রথম পর্যায়ে মাইটোকনড্রিয়া সক্রিয় থাকিলেও পরে ক্রমশঃ তাহাদের বিনাশ ঘটে।



চিত্র-109 : পেরিলা (*Perilla*) উদ্ভিদের তৃতীয় পত্রের পূর্ণ বিস্তার (40 দিন) হইতে পত্রমোচন (67 দিন) পর্যন্ত অবস্থায় প্রোটীন ও ক্লোরোফিল পরিমাণের পরিবর্তন (বাম দিকের চিত্র) এবং শ্বসন ও সালোকসংশ্লেষ হারের পরিবর্তন (ডান দিকের চিত্র)।

বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত পত্র-কোষের গঠনের পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে বিপাকীয় কার্যের অবনতি পরিলক্ষিত হয়। পেরিলা (*Perilla*) নামক উদ্ভিদের তৃতীয় পত্রে সম্পূর্ণ বিস্তার (40 দিন) হইতে পত্রমোচন (67 দিন) পর্যন্ত সময়ের বিভিন্ন বিপাকীয় কার্য পর্যালোচনা (চিত্র-109) করিলে দেখা যায় যে পত্রমোচনের সঙ্গে সমস্ত বিপাকীয় কার্যের অবনতি ঘটে। ক্লোরোফিলের পরিমাণ প্রথম দিকে (45 দিন পর) বৃদ্ধি এবং অতঃপর ক্রমশঃ হ্রাস পাইলেও সালোক-সংশ্লেষের হার প্রথম হইতে ক্রমশঃ হ্রাস পাইতে থাকে। বার্দ্ধক্যপ্রাপ্তির সময় সালোকসংশ্লেষ খুব হ্রাস পায়। অপরপক্ষে, শ্বসনের হার বার্দ্ধক্যের পূর্বে (60 দিন পর) ব্যতীত প্রায় সব সময় অপরিবর্তিত থাকে (চিত্র-109, খ) ক্লোরোফিলের ন্যায় প্রোটীনও প্রথম দিকে স্বল্প বৃদ্ধি পাইলেও অবশেষে ক্রমশঃ প্রোটীনের পরিমাণ হ্রাস পায় (চিত্র-109, ক)। বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত পত্রে ক্ষারীয় প্রোটীনের (basic protein) বৃদ্ধি ঘটে।

সাধারণভাবে বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত পত্রের আত্মীকরণ ক্ষমতা (assimilative power) এবং প্রোটীন, RNA ও DNA-এর উপচিতিকর পদ্ধতির হ্রাস পায়। বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত পত্রের সাধারণ ভাবে শর্করা জাতীয় পদার্থের আর্দ্র বিশ্লেষণ হয় ও জৈব অ্যাসিডের হ্রাস পায়।

পত্রের বার্দ্ধক্য অধিক উষ্ণতা, অন্ধকার জল ঘাটতি খনিজ লবণ ঘাটতি ও বিভিন্ন পীড়ন (stress) পরিবেশে ত্বরান্বিত হয়। উপরোক্ত প্রভাবগুলির মধ্যে উষ্ণতা ও অন্ধকার পত্র-বার্দ্ধক্যে বিশেষ কার্যকর। পূর্ণ বিকশিত পত্রে বিপাকের যে অবনতি হয় তাহার পূর্ণতাপ্রাপ্তি হয় বার্দ্ধক্যে। শ্বসন, সালোকসংশ্লেষ প্রভৃতি শারীরবৃত্তীয় পদ্ধতির হ্রাস এবং প্রোটীন, RNA প্রভৃতি উপাদানের বিশ্লেষণের সঙ্গে সঙ্গে বার্দ্ধক্য শুরু হয়। ক্লোরোফিলের বিনাশ, হলুদ ও লাল রঞ্জক পদার্থের উপস্থিতি, শর্করা ও প্রোটীনের আর্দ্র বিশ্লেষণ এবং বার্দ্ধক্যপ্রাপ্ত পত্র হইতে উপরোক্ত বিশ্লেষিত পদার্থের স্থানান্তরনই বার্দ্ধক্যজনিত প্রধান রাসায়নিক পরিবর্তন।

বৈজ্ঞানিকেরা পত্র-বার্দ্ধক্যের উপর বিভিন্ন হরমোনের প্রভাব পরীক্ষা করিয়াছেন। বিভিন্ন হরমোনের মধ্যে কাইনেটিন নামক সাইটোকাইনিন প্রয়োগে পত্রের বার্দ্ধক্য বিলম্বিত হয়। রিচমণ্ড ও ল্যাং (Richmond and Lang) 1957 খৃষ্টাব্দে পত্র-বার্দ্ধক্য বিলম্বে সাইটোকাইনিনের ভূমিকা সম্বন্ধে

আলোচনা করিলেও বর্তমানে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, উদ্ভিদ বিশেষে জিব্বেরেলীন ও অক্সিন পত্র-বার্দ্ধক্য বিলম্বে বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে। 1968 খৃষ্টাব্দে বার্গ (Burg)-এর মতে অ্যাবসাইসিক অ্যাসিড ও ইথিলীন প্রয়োগে পত্র-বার্দ্ধক্য ত্বরান্বিত হয়। হরমোন প্রয়োগে বার্দ্ধক্য বিলম্বিত পত্রে প্রোটীন ও RNA-এর পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। প্রোটীন ও RNA-এর পরিমাণ বৃদ্ধি সম্ভবতঃ তাহাদের সংশ্লেষ ত্বরান্বিত অথবা তাহাদের বিনাশ হ্রাস হওয়ার ফলে ঘটিয়া থাকে।

সমগ্র উদ্ভিদের বার্দ্ধক্য (Whole plant senescence) : ধান, গম, মটর, সয়াবীন এবং ফ্রেঞ্চবীন প্রভৃতি সমগ্র উদ্ভিদের বার্দ্ধক্য ফল পরিস্ফুরণের সহিত সম্পর্ক যুক্ত। উপরোক্ত উদ্ভিদগুলিতে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, ফল ও বীজ পরিস্ফুরণের সঙ্গে সঙ্গে পত্র পিঙ্গলবর্ণ ধারণ করে। পরিস্ফুরণ কালে উদ্ভিদের ফুল, ফল ও বীজ অপসারণ করিলে উদ্ভিদ-বার্দ্ধক্য বিলম্বিত হয়। সুতরাং পরিস্ফুরিত বীজ সমগ্র উদ্ভিদের বার্দ্ধক্য নিয়ন্ত্রণ করিয়া থাকে।

ফ্রেঞ্চবীন উদ্ভিদের বীজ পরিস্ফুরণকালে প্রোটীন ও শ্বেতসার প্রভৃতি সঞ্চিত খাদ্য দ্রব্যের বৃদ্ধির সঙ্গে তাহাদের ওজনের বৃদ্ধিও পরিলক্ষিত হয়। বীজ পরিপক্ককালে পত্রে প্রোটীন ও কার্বোহাইড্রেট ভাঙ্গন এবং অ্যামাইনো অ্যাসিড ও শর্করার স্থানান্তরণ বিশেষ ভাবে পরিলক্ষিত হয়। সুতরাং বার্দ্ধক্যের সময় বিভিন্ন পুষ্টি দ্রব্যের স্থানান্তরণ বিশেষভাবে লক্ষ্যণীয় হইলেও, স্থানান্তরণ তথ্যটি এখন অজ্ঞাত। বর্তমানে ইহা প্রমাণিত হইয়াছে যে, বিভিন্ন হরমোন পুষ্টিদ্রব্য স্থানান্তরণে বিশেষ প্রভাব বিস্তার করিয়া থাকে। ডেভিস ও ওয়েরিং (Davies and Wareing) 1965 খৃষ্টাব্দে প্রমাণ করেন যে, উদ্ভিদে উপরোক্ত বিপাকজাত পদার্থগুলি অধিক অক্সিন ইত্যাদি হরমোন ঘনত্বের দিকে ধাবিত হয়। সুতরাং তাহাদের মতে পত্র হইতে বীজে বিপাকজাত পদার্থের স্থানান্তরণ হরমোন নির্দেশিত।

বার্দ্ধক্যের সম্ভাব্য কারণগুলি বিশ্লেষণ করিলে দেখা যায় যে কোন একটি বিশেষ কারণ বার্দ্ধক্যের জন্য দায়ী নয়। বার্দ্ধক্যের কারণগুলি নিম্নে লিপিবদ্ধ করা হইল—

(ক) কোষের কোষস্থ অঙ্গগুলি সাধারণ ভাবে ব্যবহারের ফলে ক্ষয় (wear and tear) হয়, ফলে বার্দ্ধক্য ত্বরান্বিত হয়।

(খ) কোষে ধ্বংসাত্মক পদার্থের (toxin) সঞ্চয়ের ফলে, জীবের বিভিন্ন বিপাক পদ্ধতির অবনতি ঘটে।

(গ) কোষে বিপাকীয় ভুলভ্রান্তির (error) ফলে, প্রয়োজনীয় পদার্থের অপসারণ ঘটে।

(ঘ) পরিব্যক্তির (mutation) ফলে উদ্ভিদের ক্ষতিকর জিনের সঞ্চয় ঘটে (genetic damage) এবং

(ঙ) জিন কার্যকারিতার (gene function) ফলেও উদ্ভিদে বার্দ্ধক্য সংঘটিত হইতে পারে।

যুগপৎ পত্র বার্দ্ধক্য (Simultaneons or Synchronous leaf senescence) : শরৎকালে একাধিক কাষ্ঠল পত্রমোচী উদ্ভিদের যুগপৎ পত্র বার্দ্ধক্য পরিলক্ষিত হয়। যুগপৎ পত্র বার্দ্ধক্য অনুবর্তিনী বার্দ্ধক্য অপেক্ষা ভিন্ন প্রকৃতির। প্রথমতঃ যুগপৎ পত্র বার্দ্ধক্য অন্তঃস্থ কোষ প্রভাবের পরিবর্তে মৌলিক ভাবে পরিবেশ নিয়ন্ত্রিত। দ্বিতীয়তঃ যুগপৎ পত্র বার্দ্ধক্যে ভিন্ন ধরণের হরমোণ কার্যকর।

পরিবেশের মধ্যে দিবাদৈর্ঘ্য ও উষ্ণতা যুগপৎ পত্র বার্দ্ধক্যে বিশেষ কার্যকর। একাধিক কাষ্ঠল উদ্ভিদে দিবাদৈর্ঘ্য হ্রাস করিলে বার্দ্ধক্য ত্বরান্বিত হয়। একই সঙ্গে দিবাদৈর্ঘ্য ও নিম্ন উষ্ণতা বিশেষ কার্যকর। যুগপৎ পত্র বার্দ্ধক্য পরিবেশ নিয়ন্ত্রিত হইলেও অনুবর্তিনী বার্দ্ধক্যের ন্যায় পুষ্টি দ্রব্যের স্থানান্তরণও এক্ষেত্রে কার্যকারী ভূমিকা গ্রহণ করে।

বীরুৎ জাতীয় উদ্ভিদ পত্রের বার্দ্ধক্য কাইনেটিন্ বা জিব্বেরেলীন প্রয়োগে রক্ষা পাইলেও, অক্সিনের কোন ভূমিকা পরিলক্ষিত হয় না। কিন্তু কাষ্ঠল উদ্ভিদের ক্ষেত্রে 2, 4-D প্রায়াগ করিয়া পত্র বার্দ্ধক্য রক্ষা করা সম্ভব হয়। বীরুৎ জাতীয় উদ্ভিদে কাইনেটিন ও জিব্বেরেলীন যেমন RNA ও প্রোটীন সংশ্লেষ রক্ষা করিতে সক্ষম ঠিক তেমনি কাষ্ঠল উদ্ভিদের ক্ষেত্রে 2, 4-D

কার্যকর। কাষ্ঠল উদ্ভিদে অন্তর্জনিষ্ণু অক্সিন পত্র বার্দ্ধক্যে উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে। সম্ভবতঃ দিবাদৈর্ঘ্য অন্তর্জানিষ্ণু অক্সিনের পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ করিয়া পত্র বার্দ্ধক্যে কার্য করে।

কাষ্ঠল উদ্ভিদের যুগপৎ পত্র বার্দ্ধক্য ব্যাখ্যা করা সম্ভব হইলেও পাইন জাতীয় চিরহরিৎ (evergreen) উদ্ভিদের পত্র বার্দ্ধক্য ব্যাখ্যা করা সম্ভব নয়।

বিংশ অধ্যায়

সুপ্তাবস্থা ও অঙ্কুরোদ্গম

(Dormancy and Germination)

ক. সুপ্তাবস্থা (Dormancy)

অধিকাংশ কৃষি ও উদ্যান উদ্ভিদের বীজ প্রয়োজনীয় জল, বায়ু ও উষ্ণতা (কোন কোন ক্ষেত্রে আলোক-অন্ধকারের ধারাবাহিকতা) উপস্থিতিতে অঙ্কুরিত হয়। আবার কোন কোন উদ্ভিদের বীজ উপরোক্ত অনুকূল পরিবেশের উপস্থিতিতেও অঙ্কুরিত হয় না। এ সমস্ত ক্ষেত্রে অঙ্কুরোদ্গম কয়েকদিন, কয়েক সপ্তাহ এমনকি কয়েক মাস পর্যন্ত বিলম্বিত হয়। উপযুক্ত পরিবেশ সত্ত্বেও বীজের এই বিলম্বিত অঙ্কুরোদ্গমকে **সুপ্তাবস্থা** (dormancy) বলা হয়। সুপ্তাবস্থা শুধুমাত্র বীজেই সীমাবদ্ধ নয়, একাধিক কাষ্ঠল ও বীরুৎ জাতীয় উদ্ভিদের মুকুল (bud), গ্রন্থিকাণ্ড (rhizome), স্ফীতকন্দ (tubers) এবং কন্দ (bulb) প্রভৃতি ভূনিম্নস্থ (মৃদ্গত) কাণ্ডের মুকুলেও সুপ্তাবস্থা পরিলক্ষিত হয়।

সুপ্তাবস্থার সাধারণ কতকগুলি জৈবিক গুরুত্ব হইল যে, সুপ্তাবস্থার মাধ্যমে উদ্ভিদ প্রতিকূল পরিবেশে নিজেদের অস্তিত্বকে বজায় রাখিতে সাহায্য করে। সুপ্তাবস্থার অপর বৈশিষ্ট্য হইলে যে, বীজ আবরণে নানাবিধ রূপান্তর হওয়ায় বীজ বিস্তারে (dispersal) সহায়তা করে। ভ্রূণের নিষ্ক্রিয় অবস্থায় বীজের বিস্তার ঘটে এবং ভ্রূণের বৃদ্ধির সঙ্গে অঙ্কুরোদ্গম শুরু হয়।

অধিকাংশ ক্ষেত্রে, সুপ্তাবস্থা পদ্ধতিটি অত্যন্ত জটিল; বহিঃস্থ ও অন্তঃস্থ পরিবেশের প্রভাবগুলির মিথস্ক্রিয়তার ফলে সংঘটিত হয়। সাধারণভাবে ভ্রূণ ও ভ্রূণের বাহিরের এবং বীজ আবরণের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলেই বীজের সুপ্তাবস্থা পরিলক্ষিত হয়।

ভ্রূণের সুপ্তাবস্থা (Dormancy due to embryo) : ভ্রূণের সুপ্তাবস্থা প্রধানতঃ দুইটি কারণে হয়। প্রথমতঃ কোন কোন বীজের বিস্তারকালে ভ্রূণ অপরিণত (rudimentary) থাকে। সুতরাং এ সব ক্ষেত্রে ভ্রূণ পরিপক্ক না হওয়া পর্যন্ত তাহাদের অঙ্কুরোদ্গম ঘটে না। অ্যানিমন (*Anemone*), ফ্রাক্সিনাস (*Fraxinus*), ফিকারিয়া (*Ficaria*) প্রভৃতি বীজের ভ্রূণ বিস্তারকালে অপরিণত থাকে। দ্বিতীয়তঃ বার্লি (barley), গম (wheat), জই (oat), ধান

(rice), আপেল (apple), চেরী (cherry), নেসপাতি (pears) প্রভৃতি উদ্ভিদের বীজ সম্পূর্ণ পরিণত হইলেও, ফসল কাটার পর রোপন করিলে অঙ্কুরোদ্গম ঘটে না। বীজের এই অবস্থাকে **উত্তর পরিণতি** (after ripening) বলা হয়।

উত্তর পরিণতি বীজের ক্ষেত্রে তাহাদের সুপ্তাবস্থার কারণ অথবা সংরক্ষণ-কালে বীজের সঠিক পরিবর্তন নির্ণয় করা সম্ভব হয় নাই। বীজের উত্তর পরিণতি পর্যায়টি শুষ্ক অবস্থায় সংঘটিত হয় বলিয়া কোন বিপাকীয় পরিবর্তনের সম্ভাবনা কম ; কারণ শুষ্ক অবস্থায় বিপাক ক্রিয়াগুলি খুবই স্বল্প হয়। অনেকের ধারণা এই পর্যায়ে হরমোনের সৃষ্টি (বা সঞ্চয়) অথবা প্রতিরোধক পদার্থের বিনাশ (বা স্বল্পতা) ঘটায় বীজের অঙ্কুরোদ্গম হয়। পরবর্তীকালে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, জিব্বেরেলীন একাধিক বীজের অঙ্কুরোদ্গমে উদ্দীপকের কার্য করে এবং অ্যাবসাইসিক অ্যাসিড বৃদ্ধি প্রতিরোধকের ভূমিকা গ্রহণ করে। সুতরাং উত্তর পরিণতি বীজের ক্ষেত্রে বীজের অঙ্কুরোদ্গমে হরমোনের ভারসাম্যের ভূমিকা থাকিতে পারে।

বীজের এই জাতীয় সুপ্তাবস্থার বিশেষ অর্থনৈতিক গুরুত্ব বিদ্যমান। ফসল কাটার সময় যে সমস্ত অঞ্চলের পরিবেশ আর্দ্র সেই সমস্ত ক্ষেত্রে এই ধরণের সুপ্তাবস্থা সুবিধাজনক, কারণ আর্দ্র পরিবেশে শস্যের মঞ্জরী গাত্রে (ear) বীজ থাকাকালীন বীজের অঙ্কুরোদ্গম ঘটে না।

বীজ-আবরণ হেতু সুপ্তাবস্থা (Dormancy due to seed coat) : বীজের সুপ্তাবস্থার অধিকাংশ শারীরবৃত্তীয় পরীক্ষা বীজ-আবরণের ভূমিকার সহিত সম্পর্কযুক্ত। নিষেকের ফলে ডিম্বক (ovule) আবরণীর স্তর বীজ-আবরণীতে (seed coat or testa) পরিণত হয়। কোন কোন বীজে সস্য (endosperm) হইতে অতিরিক্ত বীজ আবরণের সৃষ্টি হয়। পলিস্যাকারাইড, হেমি সেলুলোজ, চর্বি, মোম ও প্রোটীন জাতীয় পদার্থ দ্বারা বীজ-আবরণীর সৃষ্টি হয়। বীজ পরিপক্ককালে বীজ-আবরণীর রাসায়নিক পদার্থগুলি জল বিয়োজন (dehydration) প্রক্রিয়ায় শক্ত আবরণীর সৃষ্টি করে। ভ্রূণের বৃদ্ধি বীজ-আবরণের উপর নির্ভরশীল। বীজ-আবরণীর বিভিন্ন পরিস্থিতির উপর বীজের সুপ্তাবস্থা নির্ভরশীল।

জল-অভেদ্য আবরণী (Water impermeable seed coat) : একাধিক

শিম্বিগোত্রীয় উদ্ভিদের বীজ জল-অভেদ্য। এই সমস্ত বীজের আবরণী বিদীর্ণ হইবার পর, জল প্রবেশের পথ সুগম হয় এবং ফলে অঙ্কুরোদ্গম ঘটে। সাধারণ পরিবেশে মৃত্তিকায় অবস্থিত ব্যাকটিরিয়া ও ছত্রাক বীজ আবরণীর পলিস্যাকারাইড ও অন্যান্য রাসায়নিক পদার্থকে আর্দ্র বিশ্লেষণ দ্বারা নমনীয় করে এবং ফলে অঙ্কুরোদ্গম ঘটে। এই জৈবিক কার্যকারিতা করিতে ব্যাকটিরিয়া বা ছত্রাকের কয়েক সপ্তাহ হইতে কয়েক মাস পর্যন্ত সময় লাগে।

গ্যাস-অভেদ্য আবরণী (Gas impermeable membrane) : শশা (cucumber) প্রভৃতি বীজের আবরণী জল-ভেদ্য হইলেও অক্সিজেন ও কার্বন-ডাই অক্সাইড গ্যাসে অভেদ্য। অঙ্কুরোদ্গমের সময় শ্বসন বিশেষ কার্যকর; সুতরাং বীজত্বক্ গ্যাস-অভেদ্য বলিয়া ভ্রূণে অক্সিজেন পৌঁছাইতে পারে না, ফলে শ্বসন ব্যাহত হওয়ায় অঙ্কুরোদ্গমে ঘটে না। কোন কোন ক্ষেত্রে অধিক CO_2 সঞ্চিত হওয়ায় অঙ্কুরোদ্গমে বাধাদান করিয়া থাকে। সুতরাং বীজত্বককে বিদীর্ণ করিলে অঙ্কুরোদ্গম ত্বরান্বিত হয়। বীজে জলের পরিমাণের উপর গ্যাস-ভেদ্যতা নির্ভরশীল। বীজত্বক্‌কে শুষ্ক রাখিলে অনেক ক্ষেত্রে বায়ু রন্ধ্রের সৃষ্টি হয়, ফলে গ্যাস-ভেদ্যতা বৃদ্ধি পায়। বীজকে ধৌত করিলেও অনেকক্ষেত্রে গ্যাস-ভেদ্যতার বৃদ্ধি পায় ফলে অঙ্কুরোদ্গম ত্বরান্বিত হয়।

যান্ত্রিক বাধা (Mechanical resistance) : কতকগুলি উদ্ভিদের বীজত্বক্ জল ও গ্যাস-ভেদ্য হইলেও বীজ কঠোর ত্বক্ দ্বারা আবৃত। ফলে বর্দ্ধিত ভ্রূণ কঠোর বীজ ত্বক্‌কে ভাঙ্গিতে পারে না। এই সমস্ত বীজের ত্বক্ আর্দ্র অবস্থায় নরম হয় এবং ভ্রূণের বৃদ্ধির ফলে তাহা বিদীর্ণ হয়।

বীজে রাসায়নিক পদার্থের প্রভাব (Effect of chemicals on seeds) : অক্সিন জাতীয় হরমোন ভ্রূণের বৃদ্ধিতে বিশেষ সহায়তা করিলেও ভ্রূণের সুপ্তাবস্থায় তাহাদের ভূমিকা এখনও অজ্ঞাত। অপরপক্ষে, সুপ্ত বীজে একাধিক বৃদ্ধি প্রতিরোধক বর্তমান এবং ইহারা সুপ্তাবস্থা পদ্ধতিতে বিশেষ কার্যকর। এভেনারী (Evenari) 1949 খৃষ্টাব্দে বীজ ও বর্দ্ধিষ্ণু ফলে একাধিক বৃদ্ধি প্রতিরোকের উপস্থিতি লক্ষ্য করেন। এই সমস্ত প্রতিরোধকের মধ্যে কুমারিন (caumarin) এবং ন্যারিনজেনিন (narangenin) বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

জিব্বেরেলীন ও সাইটোইনিন প্রভৃতি উদ্ভিদ হরমোন, অপরপক্ষে, সুপ্ত

বীজের অঙ্কুরোদ্গম ত্বরান্বিত করে। জিব্বেরেলীনের প্রভাব কান ও অনেক (Kahn *et al*) 1957 খৃষ্টাব্দে এবং সাইটোকাইনিনের প্রভাব ওয়েরিং ও ফ্রাঙ্কলিং (Wareing and Franklin) 1962 খৃষ্টাব্দে বিশেষভাবে লক্ষ্য করেন। তাঁদের মতে বীজের সুপ্তাবস্থা বৃদ্ধি সহায়ক ও বৃদ্ধি প্রতিবন্ধক পদার্থের মিথষ্ক্রিয়তার ফলে সংঘটিত হয়।

সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গন পদ্ধতি (Methods of breaking dormancy)ঃ বীজের সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গন একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ প্রসঙ্গ। কৃষকেরা স্বল্প সুপ্তাবস্থা বা সুপ্তাবস্থাবিহীন বীজের পক্ষপাতী। কিন্তু অধিকাংশ বীজ সুপ্তাবস্থাসম্পন্ন। সুতরাং এই সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনের জন্য একাধিক পদ্ধতি বিদ্যমান।

বীজের সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনের মোটামুটি চারটি পদ্ধতি বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য ঃ যান্ত্রিক (বা বিদীর্ণকরণ), উষ্ণতা (বা স্তরায়ন), আলোক ও রাসায়ন।

(ক) **যান্ত্রিক বা বিদীর্ণকরণ** (Mechanical or scarification)ঃ বীজের সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনে যান্ত্রিক বা বিদীর্ণকরণ পদ্ধতিটি বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। যে সমস্ত বীজের ত্বক্ কঠোর অথবা জল ও গ্যাস অভেদ্য সেই সমস্ত ক্ষেত্রে যান্ত্রিক পদ্ধতি বিশেষ কার্যকর। বীজকে বালিদ্বারা ঘর্ষণ করিয়া অথবা গাঢ় H_2SO_4 বা HNO_3 প্রয়োগ করিয়া বীজের জল ও গ্যাস ভেদ্যতা বৃদ্ধি করা সম্ভব। জল ও গ্যাস ভেদ্য অবস্থায় অতি সহজেই অঙ্কুরোদ্গম ঘটে।

(খ) **উষ্ণতা** (Temperature)ঃ বীজের সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনে নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োগ একটি বিশেষ কার্যকর পদ্ধতি। কোন কোন বীজে স্বল্পকাল নিম্ন উষ্ণতা (হিমাঙ্ক) প্রয়োগ করিয়া বীজের সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গন সম্ভব। কম বেশী $\pm 5°C$ অথবা কখনও কখনও 10°C উষ্ণতা প্রয়োগ বিশেষ কার্যকর। সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনে বীজের এই নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োগকে **বীজ স্তরায়ন** (seed stratification) বলা হয়।

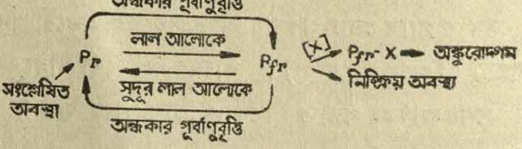
বৈজ্ঞানিকদের মতে নিম্ন উষ্ণতা অবিচ্ছিন্নভাবে প্রয়োগ না করিয়া পর্যাবৃত্ত (alternating) উষ্ণতা প্রয়োগ করিলে অধিক কার্যকর ফল পরিলক্ষিত হয়। 1955 খৃষ্টাব্দে টুল্ ও সহকর্মীরা (Toole *et al*) নিম্ন (15°C) ও উচ্চ (25°C) উষ্ণতা পর্যায়ক্রমিক প্রয়োগ করিয়া অঙ্কুরোদ্গম হারের বৃদ্ধি লক্ষ্য করেন। পর্যায়বৃত্ত উষ্ণতা প্রয়োগে সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনের সঠিক কারণ জানা না গেলেও,

উচ্চ উষ্ণতা প্রয়োগের ফলে বীজের গঠনের পরিবর্তন ও গ্যাস ভেদ্যতা বৃদ্ধি করে বলিয়া অনেকে মনে করেন।

(গ) **আলোক** (Light) ঃ আলোক বীজের অঙ্কুরোদ্গমে ত্বরান্বিত করে। অঙ্কুরোদ্গমে আলোকের ভূমিকা বিবিধ। অনেক বীজ আলোক নিষ্ক্রিয়, কোন কোন বীজে আলোক উদ্দীপক বা প্রতিবন্ধকের কার্য করে। আবার কোন কোন বীজ আলোক পর্যায় (photoperiod) নির্ভরশীল।

ফ্লিন্ট ও ম্যাক্ অ্যালিস্টার (Flint and Mc Ali t:r) 1937 খৃষ্টাব্দে লেটুস (lettuc:) বীজে প্রমাণ করেন যে, বীজের অঙ্কুরোদ্গমে লাল আলোক বিশেষ কার্যকর, নীল অথবা সুদূর লাল (far red) আলোকে অঙ্কুরোদ্গম বাধাপ্রাপ্ত হয়।

বীজে অঙ্কুরোদ্গমে আলোকের প্রাথমিক ভূমিকা ফাইটোক্রোম (phytochrome) নামক রঞ্জক পদার্থের (বিশদ অষ্টাদশ অধ্যায়ে আলোচিত) মাধ্যমে সংঘটিত হয়। ফাইটোক্রোমের দুইটি অবস্থার (Pr এবং Pfr) মধ্যে Pfr অবস্থাটি অঙ্কুরোদ্গমে কার্যকর। লাল আলোকে (660 nm) যদিও অধিক মাত্রায় Pfr অবস্থায় ইহা সঞ্চিত হয় তথাপি স্বল্প পরিমাণ Pr



চিত্র-110 : ফোটোব্লাসটিক উদ্ভিদের ক্ষেত্রে অঙ্কুরোদ্গমের সম্ভাব্য পর্যায়।

রঞ্জক পদার্থও বর্তমান (81%Pfr এবং 19%Pr)। সুদূর লাল আলোকে অধিক Pr ও স্বল্প Pfr (98%Pr এবং 2%Pfr) সঞ্চিত থাকে। সূর্যালোক প্রভৃতি আলোকে Pr এবং Pfr এর অনুপাত বিভিন্ন সময়ে পার্থক্য পরিলক্ষিত হয়। অন্ধকারে Pr এবং Pfr পরিবর্তনশীল। Pfr অবস্থাটি এককভাবে নিষ্ক্রিয় কিন্তু Pfr-X যৌগের সৃষ্টির ফলে অঙ্কুরোদ্গম ঘটে।

(ঘ) **অধিক অক্সিজেন ঘনত্বের প্রভাব** (Exposure to high O_2

conc.) : অনেক ক্ষেত্রে অধিক অক্সিজেন ঘনত্ব প্রয়োগ করিয়া বীজের সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গন সম্ভব হইয়াছে। জ্যান্থিয়াম (*Xanthium*) বীজে অধিক O_2 ঘনত্ব প্রয়োগে বীজ ত্বকে সঞ্চিত প্রতিরোধকারী বস্তুর পরিমাণ হ্রাস পায়। O_2 প্রধানতঃ প্রতিরোধকারী বস্তুর জারণীয় বিনষ্টকরণ (oxidative destruction) ঘটাইয়া সুপ্তাবস্থাকে ত্বরান্বিত করে।

(ঙ) **হরমোন ও অন্যান্য রাসায়নিক পদার্থের প্রভাব** (Effects of hormones and other chemicals) : বিভিন্ন বৃদ্ধি হরমোনের মধ্যে জিব্বেরেলীন ও সাইটোকাইনিন বীজের সুপ্তাবস্থা ভঙ্গনে বিশেষ কার্যকর। বৃদ্ধি হরমোনের মধ্যে ইথিলীনও বীজের সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনে বিশেষ কার্যকর। অন্যান্য রাসায়নিক পদার্থের মধ্যে থায়োইউরিয়া ও পটাশিয়াম নাইট্রেটের নাম বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

মুকুল সুপ্তাবস্থা (Bud dormancy) : বহুবর্ষজীবী উদ্ভিদেরা পরিবেশ পীড়নের সময় সাধারণত নিষ্ক্রিয় থাকে এবং সেই পরিবেশে মুকুলের সুপ্তাবস্থা পরিলক্ষিত হয়। প্রতিকূল পরিবেশে শুধুমাত্র সক্রিয় বৃদ্ধি ব্যাহত হয় তাহা নহে অঙ্গসংস্থানগত পরিবর্তনও পরিলক্ষিত হয়। অঙ্গসংস্থানগত পরিবর্তনের মধ্যে অক্ষ (axis) ও পত্রের বৃদ্ধি ব্যাহত এবং ভাজক কলার সমষ্টি হ্রস্ব হইয়া মুকুলের সৃষ্টি হয়। মুকুল সুপ্তাবস্থায় শ্বসনের হার ও নিউক্লিক অ্যাসিডের পরিমাণ স্বল্প হয় এবং বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। মুকুল সুপ্তাবস্থায় পরিবেশে প্রভাব কার্যকর। বিগনিয়া (*Begonia*) কন্দের ক্ষেত্রে পরীক্ষাদ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, পরিবেশ নিউক্লিক অ্যাসিড ও প্রোটীনের মাধ্যমে সুপ্তাবস্থার সৃষ্টি হয়।

হ্রস্ব বা দীর্ঘ আলোক পর্যায়ের ফলেও সুপ্তাবস্থার সৃষ্টি হইতে পারে। সাধারণ উদ্ভিদের আলোকপর্যাবৃত্তির ন্যায় মুকুলের শল্ক পত্রগুলি (scale leaves) আলোকপর্যায়ে কার্যকর।

মুকুল সুপ্তাবস্থাকে নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োগে সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গন সম্ভব। সাধারণ ভাবে সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ করিতে পত্রমুকুল অপেক্ষা পুষ্প মুকুলে কম ঠাণ্ডার প্রয়োজন হয়। কোন কোন প্রজাতিতে মুকুল সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনে উচ্চ উষ্ণতার প্রয়োজন হয়। উষ্ণতা ব্যতীত যে সমস্ত রাসায়নিক পদার্থ মুকুল সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনে প্রয়োজনীয় তাহাদের মধ্যে ইথিলীন ক্লোরোহাইড্রিন (ethylene chlorohydrin) বিশেষ ভাবে উল্লেখযোগ্য।

বহিঃস্থ পরিবেশ ব্যতীত মুকুল সুপ্তাবস্থা হরমোন নিয়ন্ত্রিত। অধিকাংশ বৈজ্ঞানিকের মতে প্রতিরোধকারী পদার্থের পরিমাণের উপর মুকুল সুপ্তাবস্থা নির্ভরশীল। বিভিন্ন প্রতিরোধকারী পদার্থের মধ্যে অ্যাবসাইসিক অ্যাসিডের ভূমিকা বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। অ্যাবসাইসিক অ্যাসিড ব্যতীত β-প্রতিরোধক পদার্থ ফিনলিক পদার্থ (phenolic) অথবা ফিন্যানথ্রিন জাতীয় (phenanthrene) পদার্থও মুকুল সুপ্তাবস্থার প্রতিরোধকারী পদার্থরূপে ব্যবহৃত হয়। অন্যান্য হরমোনের মধ্যে জিব্বেরেলীন প্রয়োগ মুকুল সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনে বিশেষ কার্যকর। উপরোক্ত হরমোন ব্যতীত মুকুল সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনে অন্যান্য হরমোনের মিথষ্ক্রিয়তাও বিশেষ ভাবে কার্যকর।

খ ঃ অঙ্কুরোদ্গম (Germination)

একাধিক বীজ যথোচিত জল, বায়ু, উষ্ণতা পরিবেশে অঙ্কুরিত হয়। শুষ্ক বীজ জল আত্মীভূত (imbibe) করিয়া এই পদ্ধতির শুরু হয় এবং পরে বিভিন্ন পর্যায়ের মাধ্যমে বিকাশ ঘটে। বীজের সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ করিয়া ভ্রূণের বৃদ্ধিকেই **অঙ্কুরোদ্গম** (germination) বলা হইয়া থাকে।

বীজের অঙ্কুরোদ্গমে পরিবেশের প্রভাব বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। পরিবেশের মধ্যে উষ্ণতা অঙ্কুরোদ্গমে বিশেষ কার্যকর। শুষ্ক বীজ অধিক উষ্ণতা সহ্য করিলেও অঙ্কুরোদ্গমের সময় বীজে নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োজন। অঙ্কুরোদ্গমের সর্বনিম্ন (minimum) ও সর্বোচ্চ (maximum) উষ্ণতা বিভিন্ন বীজে বিভিন্ন। গম, রাই এবং বার্লির ক্ষেত্রে সর্বনিম্ন উষ্ণতা 2-5°C এবং ভূট্টার ক্ষেত্রে 8-10°C। লেপিডিয়াম (*Lepidium*) নামক আগাছা বীজে সর্বনিম্ন উষ্ণতা 0·5—3°C পরিলক্ষিত হয়। নিম্ন উষ্ণতা ব্যতীত অঙ্কুরোদ্গমে অক্সিজেন অপরিহার্য। ধান প্রভৃতি বীজে জল আত্মীভূত হইবার পর অঙ্কুরোদ্গম ঘটে এবং শ্বসন সক্রিয় হয়। বীজের ভ্রূণ ভাজক-কলা সমন্বিত হওয়ার শ্বসন প্রয়োজন এবং সেইজন্য অঙ্কুরোদ্গমের সময় অক্সিজেনের উপস্থিত বিশেষ প্রয়োজন। অক্সিজেন ব্যতীত কার্বনডাই অক্সাইড প্রভৃতি গ্যাসের প্রয়োজন অন্যান্য বিপাকীয় কার্যের সহিত সম্পর্কযুক্ত। সায়ানাইড

(CN^-) জাতীয় রাসায়নিক পদার্থ অঙ্কুরোদ্গমে বাধাদান ঘটায়। অনেক ফলে শর্করা ও সায়ানাইড সমন্বিত একটি গ্লাইকোসাইড বর্তমান। কোন কারণে ক্ষত হইলে উৎসেচক কার্যকারিতায় উপরোক্ত গ্লাইকোসাইড বিশিষ্ট হইয়া সায়ানাইড সঞ্চিত করে এবং ফলে অঙ্কুরোদ্গম ব্যাহত হয়। মৃত্তিকায় জৈব ও অজৈব সার প্রয়োগে অনেক সময় মৃত্তিকায় লবণ ঘনত্ব অধিক হওয়ায় অঙ্কুরোদ্গম ব্যাহত হয়। একাধিক উপক্ষার, উদ্বায়ী তৈল, অ্যামাইনো অ্যাসিড, কুমারিন (coumarin) প্রভৃতি যৌগ অঙ্কুরোদ্গমে প্রতিবন্ধকরূপে কার্য করে।

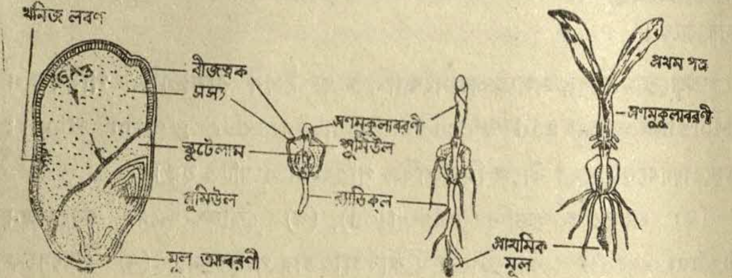
অঙ্কুরোদ্গমের সময় অঙ্গসংস্থানিক ও জৈব রাসায়নিক পরিবর্তন (Morphological and biochemical changes during germination) : অঙ্কুরোদ্গমনের সময় বীজে নিম্নলিখিত পরিবর্তন সংঘটিত হয়।

(ক) জলের আত্মভূতি (imbibition), (খ) কোষস্থ অঙ্গের জলযোজন (hydration) (গ) ফাইটোক্রোম কার্যকারিতার পরিবর্তন, (ঘ) উৎসেচক সক্রিয়তা, (ঙ) উৎসেচক সংশ্লেষ, (চ) সঞ্চিত খাদ্যের পরিপাক, (ছ) দ্রবণীয় জৈব অণুর ভ্রূণে স্থানান্তরণ, (জ) প্রোটীন ও বিভিন্ন কোষ গঠনকারী বস্তুর প্রস্তুতি, (ঝ) অক্সিজেন গ্রহণ ও শ্বসন বৃদ্ধি, (ঞ) কোষ বৃদ্ধি, (ট) কোষ বিভাজন, (ঠ) হরমোন সংশ্লেষ ও সক্রিয়তা, (ড) কোষের বিকাশ, (ঢ) ভ্রূণ অক্ষে বিপাকজাত দ্রব্যের পুর্ণবিন্যাস, (ণ) O_2 ও CO_2-এর পরিমাণের পরিবর্তন……ইত্যাদি।

বিভিন্ন উদ্ভিদ প্রজাতিতে উপরোক্ত ধারাবাহিকতার পরিবর্তন পরিলক্ষিত হইলেও, কোষ বৃদ্ধি, সঞ্চিত খাদ্যের পরিপাক এবং দ্রবণীয় বিপাকজাত দ্রব্যের ভ্রূণে স্থানান্তরণ, কোষ বিভাজন দ্বারা কোষস্থ উৎপাদনের গঠন প্রভৃতি একই মৌলিক পদ্ধতি সমস্ত বীজের অঙ্কুরোদ্গমের সময় পরিলক্ষিত হয়।

অঙ্গসংস্থানিক পরিবর্তন : অঙ্কুরোদ্গমের সময় বীজের অঙ্গসংস্থানিক পরিবর্তন চিত্র-111-তে দেখানো হইয়াছে। ভূট্টা বীজের ভ্রূণের অক্ষ মূল উৎপাদনকারী ভ্রূণমূল (radicle) এবং কাণ্ড উৎপাদনকারী ভ্রূণমুকুল (plumule) দ্বারা গঠিত। ভ্রূণমূলের নিম্নাংশ ভ্রূণমূলাবরণী (coleorhiza) এবং ভ্রূণমুকুল ভ্রূণমুকুলাবরণী (coleoptile) দ্বারা আবৃত। ভ্রূণমূল হইতে প্রাথমিক মূল এবং ভ্রূণ মুকুলাবরণী বীজত্বক্ বিদীর্ণ করিয়া বর্দ্ধিত হয়।

ভূট্টা বীজে একটি মাত্র বীজপত্র (cotyledon) উপস্থিত এবং ইহা স্কুটেলামে পরিবর্তিত হয়। অঙ্কুরোদ্গমের সময় স্কুটেলামের কোষগুলি সক্রিয় এবং বীজ সস্যের বিপাকীয় পদার্থগুলিকে ভ্রূণঅক্ষে স্থানান্তরিত করিতে সাহায্য করে। ভূট্টা বীজের সস্য প্রধানতঃ শ্বেতসার সমন্বিত যদিও কিছু কিছু প্রোটীন পূর্ণ কোষও বর্তমান। সস্যের চতুর্দিকে অ্যালুরোন স্তর (aleurone layer) দ্বারা



চিত্র-111 : ভূট্টা বীজের অঙ্কুরোদ্গমের বিভিন্ন পর্যায়।

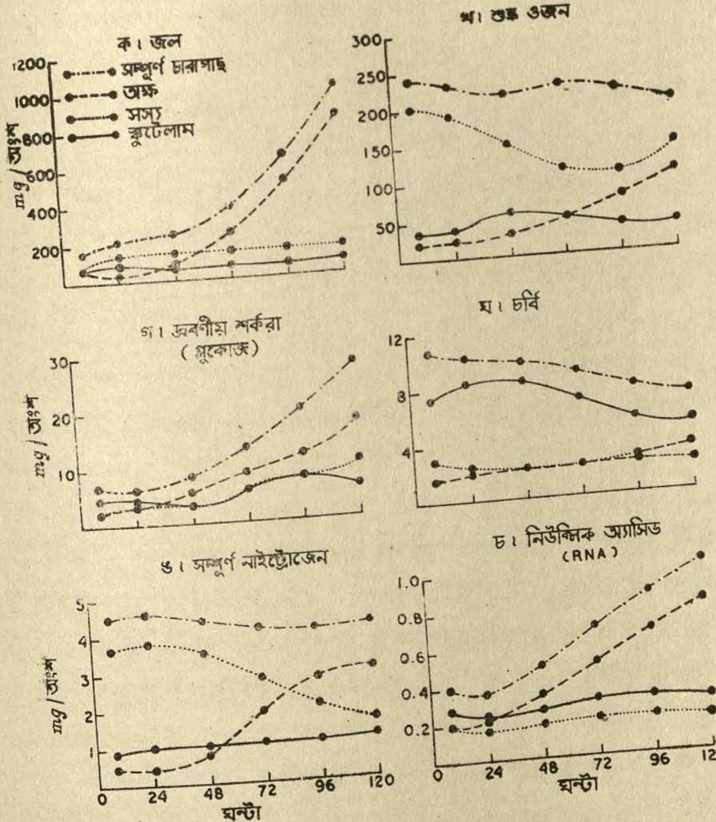
পরিবৃত। বীজের স্কুটেলাম ও অ্যালুরোন স্তর অঙ্কুরোদ্গমের প্রয়োজনীয় উৎসেচক নিঃসৃত করে। উক্ত উৎসেচকগুলি সস্যের খাদ্যদ্রব্যকে দ্রবণীয় করিয়া ভ্রূণের বৃদ্ধিতে সাহায্য করে।

রাসায়নিক পরিবর্তন : পরিপক্ক বীজকে কক্ষ উষ্ণতার জলে রাখিলে প্রথমে বীজত্বক্ এবং পরে ভ্রূণ ও সস্য জল আত্মীভূত করিয়া স্ফীত হয়। সধারণ অবস্থায় 12 ঘণ্টার মধ্যেই আত্মীভূত পদ্ধতিটি সমাপ্ত হয় এবং 20 ঘণ্টার মধ্যে ভ্রূণমূল জল আত্মীভূত করিয়া স্ফীত হয় এবং কয়েক ঘণ্টার মধ্যেই বীজত্বক্ বিদীর্ণ করিয়া অঙ্কুরোদ্গম ঘটে। সুতরাং অনুকূল পরিবেশে ভূট্টার বীজ 24 ঘণ্টার মধ্যেই অঙ্কুরোদ্গম শেষ হয়।

বীজ অঙ্কুরোদ্গমের সময় বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থের পরিবর্তন চিত্র—112 দেখানো হইয়াছে। অঙ্কুরোদ্গমের 48 ঘণ্টা পর জলের আত্মীভূত পর্যায় বৃদ্ধি পায় (চিত্র-112, ক)। বীজের শুষ্ক ওজনের লেখ (চিত্র-112, খ) হইতে ইহা প্রমাণিত হয় যে, অঙ্কুরোদ্গমের সময় সস্যে বিভিন্ন পদার্থের বিনাশ ঘটে।

সঙ্গে বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থের হ্রাস প্রধানতঃ চর্বি ও শ্বেতসার জাতীয় পদার্থের বিনাশের ফলে ঘটিয়া থাকে (চিত্র-112 গ-এর দ্রবণীয় শর্করা বৃদ্ধির দ্বারা চিহ্নিত)। নাইট্রোজেনের পরিমাণ সঙ্গে হ্রাস পাইলেও ভ্রূণ অক্ষে কিঞ্চিৎ বৃদ্ধি পায় (চিত্র-112, চ)।

অঙ্কুরোদ্গমের শেষে (অর্থাৎ ভ্রূণমূল প্রসারিত হইবার পর), শ্বেতসার, চর্বি, প্রোটীন, ফাইটিন প্রভৃতি পুষ্টি দ্রব্য শর্করা, ফ্যাট অ্যাসিড, অজৈব ফসফেট প্রভৃতি দ্রবণীয় গঠনে রূপান্তরিত হইয়া ভ্রূণঅক্ষে স্থানান্তরিত হয়। অধিকাংশ



চিত্র-112 : ভূট্টা বীজের অঙ্কুরোদ্গমের সময় বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থের পরিবর্তন। পরীক্ষাটি 25°C অন্ধকারে করা হইয়াছে।

রাসায়নিক পরিবর্তন অঙ্কুরোদ্গমের পর সংঘটিত হইলেও উৎসেচকের সক্রিয়তা জল আত্মীভূত করিবার 2-3 ঘন্টার মধ্যেই কোষ পর্দার আর্দ্র বিশ্লেষণ ঘটে এবং অতঃপর উপচিতি কর প্রক্রিয়ার দ্রুত গতিতে শুরু হয়।

অঙ্কুরোদ্গমের কয়েক ঘন্টরে মধ্যেই RNA প্রস্তুত শুরু হয় (চিত্র-112, ঙ)। সাধারণতঃ বীজ অঙ্কুরোদ্গমের সময় DNA সংশ্লেষ ঘটে না। DNA সংশ্লেষ এবং কোষ বিভাজন ভ্রূণমূল প্রস্তুত হইবার পর ঘটিয়া থাকে।

বিভাগ V

উদ্ভিদ শারীরবিদ্যার প্রয়োগ

(Practical application of Plant Physiology)

উদ্ভিদ শারীরবিদ্যার তাত্ত্বিক গুরুত্ব ছাড়াও, কৃষিবিদ্যা (Agriculture), উদ্যানবিদ্যা (Horticulture), ভেষজবিদ্যা (Pharmacology), বনপালন বিদ্যা (Forestry), উদ্ভিদ রোগবিদ্যা (Plant pathology) প্রভৃতি একাধিক ফলিত উদ্ভিদ বিদ্যার (applied botany) ভিত্তিরূপে উদ্ভিদ শারীরবিদ্যার গুরুত্ব অপরিসীম। পূর্ববর্তী অধ্যায়গুলিতে উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা প্রধানতঃ মৌলিক বিজ্ঞান রূপে (basic science) আলোচিত হইয়াছে। উদ্ভিদের ক্রিয়াকলাপ সম্পর্কিত সম্যক ধারণা বৈজ্ঞানিকদের নিকট অভীষ্ট বস্তু হইলেও একাধিক ব্যবহারিক কারণেও উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা পাঠের প্রয়োজনীয়তা সুস্পষ্ট।

পৃথিবীর অধিবাসীদের আহার সংস্থান বিষয়ে উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা বিশেষ সাহায্য করে। সুতরাং **কৃষিক্ষেত্রে** উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা প্রধান প্রয়োগরূপে গণ্য করা হইয়া থাকে। পৃথিবীর বুকে জীবের ভারসাম্য ও মিথস্ক্রিয়া সম্বন্ধে জ্ঞানার্জন করাও মানুষের বিশেষ প্রয়োজন। পৃথিবীর সামান্য অংশ ফসলী উদ্ভিদ দ্বারা আচ্ছাদিত থাকিলেও অবশিষ্ট অংশ প্রাণী ও অন্যান্য উদ্ভিদ দ্বারা পরিব্যাপ্ত। পরিবেশের সঙ্গে জীবের এই প্রতিক্রিয়া প্রধানতঃ শারীরবৃত্তীয়। সুতরাং উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা **বাস্তু সংস্থান বিদ্যার** সহিত সম্পর্কযুক্ত।

বহির্বিশ্বে গ্রহান্তরে জীবনের অস্তিত্ব সম্পর্কিত বিজ্ঞানকে **বহির্জীববিজ্ঞান** (exobiology) বলা হয়। বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা বহির্বিশ্বে জীবনের অস্তিত্ব সম্বন্ধে নানাবিধ পরীক্ষায় রত। এই বিজ্ঞান বিকাশেও উদ্ভিদ শারীরবিদ্যার দান অপরিসীম।

কৃষিক্ষেত্রে উদ্ভিদ শারীরবিদ্যার স্থান : বর্তমানে পৃথিবীপৃষ্ঠে প্রায় শতকরা 3 ভাগ জমি চাষ-আবাদে ব্যবহৃত হইয়া থাকে এবং পৃথিবীর অবশিষ্ট অংশ জল, বরফ, পাহাড় ও অব্যবহার্য জমিদ্বারা পরিব্যাপ্ত। পৃথিবীপৃষ্ঠে জন-

সংখ্যার বৃদ্ধি হার হইতে দেখা যায় যে, আগামী 20/25 বৎসরের মধ্যে জনসংখ্যা দ্বিগুণ হইবার সম্ভাবনা রহিয়াছে। সুতরাং যে হারে জনসংখ্যা বৃদ্ধি পাইতেছে, সেই হারে কৃষি উৎপাদন বৃদ্ধি না পাইলে, অবস্থার অবনতি অপরিহার্য। সুতরাং এই কঠিন সমস্যার সম্মুখীন হইতে গেলে জনসংখ্যা নিয়ন্ত্রণের সঙ্গে সঙ্গে কৃষি উৎপাদন বৃদ্ধি অবশ্য প্রয়োজনীয়।

নূতন জমি কৃষি আওতায় আনিয়া কৃষি উৎপাদন বৃদ্ধি করিয়া খাদ্য উৎপাদন বৃদ্ধি করা সম্ভব হইলেও উপরোক্ত সমস্যা সমাধানে কার্যকর নয়। কারণ কর্ষণ জনিত জমি যত বৃদ্ধি করাই হউক না কেন সমগ্র পৃথিবীতে উহার পরিমাণ শতকরা 5 ভাগের অধিক হওয়া সম্ভব নয়। অপরপক্ষে, অনাবাদী জমিকে আবাদী জমিতে পরিণত করা, উন্নততর প্রযুক্তি বিদ্যা ও প্রচুর ব্যয় সাপেক্ষ। উদ্ভিদ শারীরবিদ্যার নীতিগুলি ঠিকভাবে কার্যকর করিয়া খাদ্য উৎপাদন বৃদ্ধি অনেকাংশে সম্ভব। ভবিষ্যতে সমস্ত কৃষি গবেষণা ঠিকভাবে চালু রাখিয়া ভাল ও উন্নতধরনের উচ্চ ফলনশীল উদ্ভিদ সৃষ্টি, উদ্ভিদকে রোগ, কীট ও আগাছার হাত হইতে রক্ষা করা, মৃত্তিকার উর্বরতা নিয়ন্ত্রণ প্রভৃতির দিকে নজর দিতে হইবে। সংগে সংগে খাদ্য উৎপাদনের দিকে তীব্র গবেষণা চালানোর প্রয়োজনীয়তা অবশ্য প্রয়োজন। এই সমস্ত গবেষণাক্ষেত্রে উদ্ভিদ শারীরবিদ্‌দের মৌলিক ব্যাখ্যাগুলি বিশেষ কার্যকর।

উদ্ভিদ শারীরবিদ্‌দের নিম্নলিখিত মৌলিক ব্যাখ্যাগুলি অধিক খাদ্য উৎপাদনের গবেষণার ক্ষেত্রে একান্তভাবে প্রয়োজন। খাদ্য প্রস্তুতের ক্ষেত্রে সূর্য শক্তিকে ব্যবহার করিয়া সালোকসংশ্লেষের সক্ষমতা (efficiency) বৃদ্ধি করা সম্ভব। সাধারণভাবে আপতিত আলোকের (incident radiation) শতকরা 6·6 ভাগ উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিতে ব্যবহার করে। সালোক-সংশ্লেষে উৎপাদিত খাদ্যের শতকরা 30-50 ভাগ শ্বসনে ব্যবহৃত হওয়ায় প্রতিদিনে সালোকসংশ্লেষ কার্যকারিতার ফলে শতকরা 3-4·5 ভাগ নীট কার্বন লাভ ঘটে। উদ্ভিদ একাধিক প্রভাবে (জল পীড়ন, খনিজ লবণের অভাব, রোগ, সীমিত উষ্ণতা ও CO_2) বৃদ্ধি পাওয়ায় বস্তুতপক্ষে সাধারণত উদ্ভিদ শতকরা 1 ভাগ আপতিত আলোক সালোকসংশ্লেষে কার্যকর। উদ্ভিদের বৃদ্ধি-কালে অধিকাংশ সূর্যালোক-শক্তি ভূমিতে পতিত হয় এবং উদ্ভিদ দৈর্ঘ্যে বৃদ্ধি পাইলে অনেক পত্রে সূর্যালোক পড়ে না, ফলে সালোকসংশ্লেষ স্বল্পতর হয়।

সুতরাং উদ্ভিদ-পত্রকে সালোকসংশ্লেষে কার্যকর করিতে হইলে তাহাদের
পত্র ক্ষেত্রফলের সূচক* (leaf area index) বৃদ্ধি একান্ত প্রয়োজন। উদ্ভিদ
প্রসারিত হইয়া তাহাদের পত্রগুলি উল্লম্ব (vertical) অবস্থায় থাকিলে তাহাদের
পত্র ক্ষেত্রফল-সূচক যেমন বৃদ্ধি পায় তেমনি আপতিত আলোক ব্যবহারের
ক্ষমতাও বৃদ্ধি পায়। উভয় ক্ষেত্রেই সালোকসংশ্লেষের কার্যকারিতা বৃদ্ধি
পায়। সালোকসংশ্লেষ বৃদ্ধির ফলে খাদ্যের পরিমাণও বৃদ্ধি পায়। স্বল্প
ফলনশীল উদ্ভিদে আলোকের উপস্থিতিতে আলোকশ্বসন (photorespiration)
ঘটিলে পত্রে সালোকসংশ্লেষের প্রাথমিক উৎপাদকগুলি ব্যবহৃত হয় ফলে ঐ
সমস্ত উদ্ভিদের উৎপাদনে হ্রাস পায়। সাধারণতঃ উচ্চ ফলনশীল উদ্ভিদে
আলোকশ্বসন পরিলক্ষিত হয় না।

নষ্টক (*Nostoc*), অ্যানাবিনা (*Anabaena*) প্রভৃতি একাধিক নীলাভ-
সবুজ শৈবাল, অ্যাজোটোব্যাক্টর (*Azotobacter*), রাইজোবিয়াম
(***Rhizobium***) এবং একাধিক সালোকসংশ্লেষবিহীন ব্যাক্টিরিয়া নাইট্রোজেন
সংবন্ধনে (fixation) কার্যকর। সুতরাং উপরোক্ত শৈবাল ও ব্যাক্টিরিয়ার
কর্ষণ (culture) দ্বারা জমিতে নাইট্রোজেনের পরিমাণ বৃদ্ধি করা
সম্ভব। দঃ পূ এশিয়ার অধিকাংশ ধান চাষের জমিতে নাইট্রোজেন সংবন্ধন-
কারী শৈবাল বিশেষ করিয়া অ্যাজোলার সহিত মিথোজীবী অ্যানাবিনা
অ্যাজোলী (*Anabaena azollae*) বসবাস করায় ধান গাছের প্রয়োজনীয়
নাইট্রোজেন সরবরাহ করিয়া থাকে। বর্তমানে সবুজ সার (green manure)
হিসাবে উপরোক্ত শৈবালগুলি কর্ষণ করিয়া ধানের উৎপাদন বৃদ্ধি করা
হইয়াছে। মরুভূমি অঞ্চলের জমির উর্বরতা বৃদ্ধিতেও নীলাভ-সবুজ শৈবালের
ভূমিকা বর্তমান।

কলা কর্ষণ (tissue culture) বিজ্ঞানের নতুন নতুন কৌশল উদ্ভাবনের
সঙ্গে সঙ্গে স্বল্প সময়ে নূতন নূতন কাম্য ফসলী উদ্ভিদের বংশ (strain)
উদ্ভাবন সম্ভব হইয়াছে।

একাধিক কৃত্রিম ও প্রাকৃতিক ভাবে অক্সিন (auxins) কৃষি ও উদ্যানের
কার্যে ব্যবহৃত হয়। ইহাদের ব্যবহার কম গাঢ়ত্ব ও স্বল্প ব্যয়ে সাধিত হয়

* সমগ্র উদ্ভিদ পত্রের ক্ষেত্রফল (total leaf area) ও ভূমি অধিকৃত ক্ষেত্রফলের (ground area occupied) অনুপাতকে পত্র ক্ষেত্রফলের সূচক (leaf area index) বলা হয়।

বলিয়া বর্তমানে এই হরমোনগুলি নানাবিধ কার্যে ব্যবহৃত হয়। অক্সিনের ব্যবহারে উদ্ভিদের শাখা কলম ও বীজহীন ফলের উৎপাদন ঘটিয়া থাকে। ফলের অপরিণত-মোচন রক্ষা করিতেও অক্সিন খুব প্রয়োজনীয়। চাষের জমিতে চাষের নিমিত্ত ফসলী উদ্ভিদ ব্যতীত অন্যান্য অবাঞ্ছিত উদ্ভিদের (weeds) বিনাশ করিতে 2, 4-D নামক কত্রিম হরমোন বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়। অক্সিন প্রয়োগে অবিভেদিত 'ক্যালাস' কোষ সৃষ্টি করিয়া উদ্ভিদের ক্ষত স্থান পূরণ (healing of wounds) খুবই সহায়তা করে। উপরোক্ত বিষয়গুলি উদ্ভিদ শারীরবিদদের অধিক খাদ্য উৎপাদনে বিশেষ সাহায্য করে।

উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে উদ্ভিদের জল ক্ষয় (অপচয়) বিশেষ তাৎপর্যপূর্ণ। উদ্ভিদের জল অপচয় (প্রস্বেদন) যথাসম্ভব হ্রাস করিয়া জল ব্যবহারের ক্ষমতাকে বৃদ্ধি করা হইয়া থাকে। এইভাবে প্রস্বেদন হ্রাস করাইয়া ফসলী উদ্ভিদের বিপাকে সহায়তা করা সম্ভব। প্রস্বেদন হ্রাস করিবার রাসায়নিক পদার্থকে **প্রস্বেদন প্রতিরোধী** (antitranspirants) বলা হয়। বর্তমানকালে সর্বাপেক্ষা অধিক প্রচলিত প্রস্বেদন প্রতিরোধীরূপে ফিনাইল মারকিউরিক অ্যাসিটেটের (PMA) ব্যবহার বহুল প্রচলিত। লঘু ঘনত্বে এই পদার্থটিকে প্রয়োগ করিলে পত্ররন্ধ্রের আংশিক বন্ধ ঘটে ফলে প্রস্বেদন হার হ্রাস পায়। কার্বন ডাই অক্সাইডের ঘনত্ব বৃদ্ধি, সিলিকন তৈল ও স্বল্প সান্দ্রতা বিশিষ্ট মোম পাতায় প্রলেপ লাগাইয়াও প্রস্বেদন হার হ্রাস করা সম্ভব।

মৃত্তিকায় সঠিক পরিমাণ স্বল্পমাত্রিক মৌলের (micro elements) প্রয়োগ করিয়া উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও খাদ্যের গুণগত মান (quality) বৃদ্ধি করা সম্ভব। বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা ঐ সমস্ত প্রয়োজনীয় মৌলকে পত্রপৃষ্ঠে প্রয়োগ (foliar application) করিয়াও সুফল লাভ করিয়া থাকেন। পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, একাধিক ফল-গাছে লৌহ, দস্তা, তামা ও ম্যাঙ্গানীজের পত্রপৃষ্ঠে প্রয়োগ মৃত্তিকার প্রয়োগ অপেক্ষা অধিক কার্যকর। ইউরিয়া প্রভৃতি নাইট্রোজেন সার পত্রপৃষ্ঠ দ্বারা দ্রুত শোষিত হয় বলিয়া বর্তমানে নাইট্রোজেন যুক্ত সার পত্রপৃষ্ঠে অধিক প্রয়োগ করা হইয়া থাকে। হাওয়াই দ্বীপে আনারস ক্ষেতে নাইট্রোজেনের শতকরা 80 ভাগ লৌহ ও দস্তার সহিত মিশ্রিত করিয়া পত্রপৃষ্ঠে প্রয়োগ করা হয়।

ফসলী উদ্ভিদের উৎপাদন কোন পরম পরিবেশে সর্বাপেক্ষা অধিক এই

তথ্যগুলিও অধিক খাদ্য উৎপাদনের সহিত জড়িত। বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা নিয়ন্ত্রিত পরিবেশ (ফাইটোট্রোন) সৃষ্টি করিয়া এই সমস্ত গবেষণায় লিপ্ত।

মৃত্তিকায় শৈবাল ও ঈষ্ট জাতীয় উদ্ভিদের বহুল কর্ষণ (culture) করিয়া অবাঞ্ছিত উদ্ভিদের (আগাছা) প্রোটীন ও স্নেহ জাতীয় দ্রব্য বৃদ্ধি করা হয় এবং এই আগাছাগুলি উচ্চ শ্রেণীয় গবাদি পশুর জাব (fodder) রূপে ব্যবহার করা হইয়া থাকে।

সুতরাং উদ্ভিদ শারীরবিদ্যায় **মূলতঃ** উদ্ভিদ বৃদ্ধির মৌলিক তত্ত্ব সম্পর্কে আলোচনা করা হইলেও মানব কল্যাণে এই তত্ত্বগুলির প্রয়োগ কৃষিকার্যের মাধ্যমে সম্পাদিত হয়। এক কথায় মৌলিক ও ব্যবহারিক গবেষণার মধ্যে একটি সহযোগিতার ফলে কৃষিক্ষেত্রে উন্নতি সম্ভব। উদ্ভিদ শারীরবিদদের সহযোগিতায় পৃথিবীর একাধিক স্থানে কৃষিক্ষেত্রে বিপ্লব আনয়ন সম্ভব হইয়াছে।

অন্যান্য শারীরবিদ্যার প্রয়োগ ঃ উদ্ভিদের সুপ্তাবস্থা ও অঙ্কুরোদ্গম বিষয়টির ব্যবহারিক প্রয়োগ বিদ্যমান। সুপ্তাবস্থার তাত্ত্বিক গুরুত্ব থাকিলেও বীজের সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গন একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা। অধিকাংশ ক্ষেত্রে কৃষকেরা সুপ্তাবস্থাবিহীন বা স্বল্প সুপ্তাবস্থা সম্পন্ন বীজের পক্ষপাতী। সুতরাং সুপ্তাবস্থা ভাঙ্গনের বিভিন্ন পদ্ধতিগুলি প্রয়োগ করিয়া বীজের অঙ্কুরোদ্গম ত্বরান্বিত করা যায়। বীজের অঙ্কুরোদ্গমে একাধিক রাসায়নিক পদার্থ প্রতিবন্ধকের কার্য করে। এই সমস্ত প্রাকৃতিক ভাবে উৎপন্ন অঙ্কুরোদ্গম-প্রতিরোধী (germination inhibitors) পদার্থগুলি বীজ হইতে ক্ষরিত না হওয়া পর্যন্ত বীজের অঙ্কুরোদ্গম ঘটে না। নাইট্রেট জাতীয় অঙ্কুরোদ্গম উদ্দীপক পদার্থ প্রয়োগে অঙ্কুরোদ্গম ত্বরান্বিত হয় এবং ফলে ইহাদের ব্যবহারিক গুরুত্বও বিদ্যমান।

অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় পদ্ধতির মধ্যে আলোকপর্যাবৃত্তি (photoperiodism) এবং বাসন্তীকরণ(vernalization)পদ্ধতি দুইটির ব্যবহারিক প্রয়োগ বিদ্যমান। উদ্ভিদকে আলোক ও উষ্ণতা প্রয়োগ করিয়া পুষ্প বিকাশ ত্বরান্বিত করা হয়। ফলে উপরোক্ত পদ্ধতি দুইটির ব্যবহারিক প্রয়োগ করিবার অকালে (off season) শাক্-সব্‌জি চাষ সম্ভব। সঙ্করায়ণ (hybridization) পদ্ধতিতে আলোকপর্যাবৃত্তির প্রত্যক্ষ প্রয়োজনীয়তা বিদ্যমান। শীতপ্রধান দেশে, ঠাণ্ডা

অধিকাল স্থায়ী থাকায় শীতশ্রেণী উদ্ভিদকে শরৎকালে রোপণ সার্থক হয় না। ফলে অধিক উৎপাদন ব্যাহত হয়। কিন্তু শীতশ্রেণীর উদ্ভিদের বীজ রোপণের পূর্বে নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োগ করিয়া বসন্তশ্রেণী রূপে ব্যবহার করা হইয়া থাকে। সুতরাং অর্থনৈতিক দিক হইতে বাসন্তীকরণের ভূমিকা প্রভূত।

কর্ষণ পদ্ধতি (Cu'ture m:thods)ঃ উদ্ভিদ শারীরবিদ্যায় কর্ষণ পদ্ধতি আধুনিক কৃষিক্ষেত্রে বিশেষ প্রয়োজনীয়। কৃষিবিপ্লবে কর্ষণ পদ্ধতির অবদান অনস্বীকার্য। কর্ষণ পদ্ধতিতে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের ব্যবহারের ফলে উদ্ভিদে সার প্রয়োগের সঠিক পদ্ধতি নিরূপণ করা সম্ভব। শারীরবিদ্যা জ্ঞানের ফলে উদ্ভিদ বিকাশের কোন স্তরে কতটুকু সার প্রয়োগ করা প্রয়োজন তাহার সঠিক তথ্যও তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের পরীক্ষার দ্বারা জানা সম্ভব। অধিক নাইট্রোজেন সার প্রয়োগে উদ্ভিদের যৌন বৃদ্ধির পরিবর্তে অঙ্গজ অঙ্গের বৃদ্ধি ঘটে সুতরাং উদ্ভিদের অঙ্গজ বৃদ্ধিকালে নাইট্রোজেন সার প্রয়োগ প্রয়োজন। অধিক পত্র বৃদ্ধির ফলে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় অধিক খাদ্য সঞ্চিত হয় এবং এই খাদ্য পরিবহন প্রক্রিয়ার পরে ফলে সঞ্চিত হয়।

বর্তমানকালে সার প্রয়োগের একাধিক কার্যকর ও অভিনব পদ্ধতি উদ্ভব করা হইয়াছে। বপনের পূর্বে বীজগুলিতে সার মিশ্রিত করিলে চারাগাছগুলি গোড়ার দিকে উদ্দীপিত হইতে পারে। আদ্র মৃত্তিকায় অনাদ্র অ্যামোনিয়া প্রয়োগ করিলে নাইট্রেটে জারিত হয়। অনেকক্ষেত্রে ইউরিয়া সরাসরি উদ্ভিদ পত্রপৃষ্ঠে প্রয়োগ করা হইয়া থাকে। এইভাবে বিভিন্ন প্রয়োগ পদ্ধতি দ্বারা সার প্রয়োগ করিয়া উদ্ভিদ বৃদ্ধি ও বিকাশের সহায়তা করা সম্ভব।

কৃষি বিপ্লবের অপর একটি দিক হইল **জলসেচন** (i: igation)। উদ্ভিদ শারীরবিদেরা বর্তমানে উপযুক্ত সময়ে পরিমীত জল প্রয়োগের বিভিন্ন তথ্য উদ্ভাবন এবং একাধিক উন্নততর জলসেচন পদ্ধতি প্রয়োগের ফলে কৃষি বিপ্লবের পথ সুগম হইয়াছে। কৃষিক্ষেত্রে প্লাসটিক আচ্ছাদনের (la t:c sheet) ব্যবহারও অনেকাংশে কৃষি উন্নয়নে সহায়ক। অনেকক্ষেত্রে জমিতে প্লাসটিক আচ্ছাদন করিয়া মৃত্তিকার বাষ্পমোচন হ্রাস ও আগাছা উৎপাদন রোধ করা সম্ভব।

কীট ও উদ্ভিদ রোগ নিয়ন্ত্রণ (Control of insects and plant diseases) : কীট, আগাছা ও রোগ জীবাণু ফসলের প্রভূত ক্ষতি করে। ইহাদের নিয়ন্ত্রণে উদ্ভিদ শারীরবিদ্যার দান অপরিসীম। একাধিক উদ্ভিদ কীটঘ্ন (insecticides) উদ্ভিদ দেহে সংবাহিত হইয়া বিভিন্ন ধরণের কীটকে নাশ করিয়া থাকে। আধুনিক জৈবিক নিয়ন্ত্রণও (biological control) শারীরবিদ্যার সহিত সম্পর্কযুক্ত। রোগ প্রতিরোধী (disease resistant) উদ্ভিদ সৃষ্টি করিয়া একাধিক উদ্ভিদ রোগ নিয়ন্ত্রণ করা হয়।

উদ্ভিদ রোগবিদ্যার (plant pathology) সহিত উদ্ভিদ শারীরবিদ্যার সম্পর্কও অপরিসীম। বিভিন্ন মৌলের অভাবে যে অভাবজনিত রোগ পরিলক্ষিত হয় তাহা **শারীরবৃত্তীয় রোগ** (physiological diseases) নামে পরিচিত। মৃত্তিকায় মৌলের অভাবে উপরোক্ত রোগ হইয়া থাকে এবং এ সমস্ত ক্ষেত্রে শারীরবিদ্যা জ্ঞানের দ্বারা ঐ রোগগুলি নিয়ন্ত্রণ করা সম্ভব। রোগ বিশারদেরা (pathologists) ব্যাক্টিরিয়া, ভাইরাস এবং ছত্রাকের বিভিন্ন দৃষ্টিকোণে আলোচনা করিলেও আশ্রয়দাতা-পরজীবীর মৌলিক সম্পর্কটি সম্পূর্ণ শারীরবৃত্তীয়। সুতরাং শারীরবিদ্যার বিভিন্ন তথ্যগুলি উদ্ভিদ রোগ নিয়ন্ত্রণে বিশেষ কার্যকর।

কৃষি বিপ্লবে যান্ত্রিকরণ (mechanization) বিষয়টি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। বর্তমান মজুরের খরচ বৃদ্ধি পাওয়ায় আধুনিক কৃষিক্ষেত্রে যান্ত্রিকরণ বিষয়টি বহুল প্রচলিত। টমাটো প্রভৃতি উদ্ভিদে একই সময়ে সমস্ত ফলগুলিকে পরিপক্ক করাইয়া যান্ত্রিক সংগ্রহণ (mechanical harvest) সম্ভব হয়। উদ্ভিদের গঠন পরিবর্তন করিয়াও যান্ত্রিক সংগ্রহণ সম্ভব।

উদ্ভিদ শারীরবিদেরা শারীরবিদ্যা ও জেনেটিক বিদ্যার তত্ত্বগুলির যথাযথ প্রয়োগ দ্বারা উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও বিকাশ নিয়ন্ত্রণ সম্ভব করিয়াছে। এই বিশেষ বিদ্যাকে জেনেটিক যন্ত্রবিদ্যা (genetic engineering) বলা হয়। 'নির্দিষ্ট উৎসেচক নির্দিষ্ট কার্যকারিতার জন্য দায়ী' জেনেটিক সংকেত (genetic code) জানা থাকিলে নূতন জিন সৃষ্ট করিয়া উদ্ভিদের কার্যকারিতা নিয়ন্ত্রণ সম্ভব। উপরোক্ত তত্ত্বগুলি সুদূর প্রয়াসী ; এ বিষয়ে বৈজ্ঞানিকেরা নানা পরীক্ষায় লিপ্ত আছেন।

সাধারণ নির্দেশ গ্রন্থ
(General Reference Books)

1. Baron, W. M. M. 1963. *Organization in Plants.* Edward Arnold (Publisher). London.

2. Bonner, J. and A. W. Galston. 1951. *Principles of Plant Physiology.* W. H. Freeman and Co. London.

3. Bonner, J. and J. E. Varner. 1966. *Plant Biochemistry.* Academic Press. N. Y.

4. Brachet, J. and A. E. Mirsky. 1961. *The Cell.* vol I-V. Academic Press. London.

5. Burke, J. D. 1970. *Cell Biology.* The Williams and Wilkins Comp. Baltimore. Marylaad. USA.

6. Cohen, G.N. 1968. *The Regulation of Cell Metabolism.* Holt, Rinehart and Winston. N. Y.

7. Conn, E. E. and P. K. Stumpf. 1969. *Outlines of Biochemistry.* Wiley Eastern (P) Ltd. India.

8. Devlin, R. M. 1966. *Plant Physiology.* Van Nostrand Reinhold Company. N. Y.

9. Ferry, J. F. and H. S. Ward. 1959. *Fundamentals of Plant Physiology.* The Macmilan Company. N. Y.

10. Giese, A. C. 1968. *Cell Physiology.* W. B. Saunders Company. London.

11. Hess, D. 1975. *Plant Physiology.* Springer-Verlag. N. Y.

12. Lehninger, A. L. 1970. *Biochemistry.* Worth Publication. N. Y.

13. Loewy, A. G. and P. Siekevitz. 1963. *Cell Structure and Function.* Holt, Rinehart and Winston. N. Y.

14. Mahler, H. R. and E. H. Cordes. 1971. *Biological Chemistry*. Harper & Row International. N. Y.

15. Meyer, B. S , D. B. Anderson and R. H. Bohning. 1960. *Introduction to Plant Physiology*. D. Van Nastrand Company. N. Y.

16. Noggle, G. R. and G. J. Fritz. 1977. *Introductory Plant Physiology*. Prentice-Hall of India. New Delhi.

17. Paul, J. 1965. *Cell Biology*. Heineman. London.

18. Price, C. A. 1970. *Molecular Approaches to Plant Physiology*. McGraw Hill and Co. N. Y.

19. Pridham, J. B. 1965. *Biosynthetic Pathways in Higher Plants*. Academic Press. London.

20. Salisbury, F. B. and C. Ross. 1974. *Plant Physiology*. Prentice Hall of India. New Delhi.

21. Strafford, G. A. 1963. *Plant Metabolism*. Heinemann. London.

22. ——————————1965. *Essentials of Plant Physiology*. Heinemann. London.

23. Street, H. E. 1966. *Plant Metebolism*. ELBS and Pergamon Press. London.

বিশেষ নির্দেশগ্রন্থ ও পত্রিকা

(Specific Reference Books and Journals)

প্রথম অধ্যায়

1. Bollard, E. G. and G. W. Butler. 1966. Mineral Nutrition of Plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 17 : 77-112.
2. Broyer, T. C. and P. R. Stout. 1957. The Macronutrient Elements. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 10 : 277-300.
3. Epstein, E. 1972. *Mineral Nutrition in Plants : Principles and Perspectives.* John Wiley and Sons. Inc. N. Y.
4. Gauch, H. G. 1972. *Inorganic plant Nutrition.* Dowden, Hutchinson and Ross Inc. Strondsburg. Pa.
5. Hewitt, E. J. and T. A. Smith. 1975. *Plant Mineral Nutrition.* John Wiley and Sons Inc. N. Y.
6. Steward, F. C. ed. 1963. *Inorganic Nutrition of Plants, Plant Physiology, a treatise,* Vol-3. Academic Press. N. Y.
7. Truog, E. ed. 1651. *Mineral Nutrition of Plants.* University of Wisconsin Press. Madison, Wisconsin.

দ্বিতীয় অধ্যায়

1. Benson, A. A. 1964. Plant Membrane Lipids. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 15 : 1-16.
2. Brown, S. A. 1966. Lignins. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 17 : 223-244.
3. Hall, J. L., T. J. Flowers and R. M. Roberts. 1974. *Plant Cell Structures and Metabolism.* Longmans, Green Co. London.

4. Harborne, J. B. 1964. *Biochemistry of Phenolic Compounds.* Academic Prees. N. Y.
5. Ingram, V. M. 1965. *The Biosynthesis of Macromolecule.* W. A Benjamin Inc. Reading. Mass.
6. Krogman, D. W. 1973. *The Biochemistry of Green Plants.* Prentice-Hall. Englewood Cliffs N. J.
7. Preston, R. D. 1964. Structural Plant Polysaccharides. *Endeavour.* 23 : 153-159.
8. Porter, H. K. 1962. Synthesis of Polysaccharides of Higher Plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 13 : 303-328.
9. Schubert, W. J. 1965. *Lignin Biochemistry.* Academic Press. N. Y.

তৃতীয় অধ্যায়

1. Barry, J. M. 1964. *Molecular Biology : Genes and the Chemical Control of Living Cells.* Prentice Hall. Englewood Cliffs. N. Y.
2. Davidson, J. N. 1965. *The Biochemistry of the Nucleic Acids.* Methuen and Company. London.

চতুর্থ অধ্যায়

1. Blondin, G. A. and D. E. Green. 1975. A Unifying Model of Bioenergetics. *Chem. Eng. News.* 53 : 26-42.
2. Dixon, M. and E. C. Webb. 1964. *Enzymes.* Academic Press. N. Y.
3. Lehninger, A. L. 1965. *Bioenergetics.* W. A. Benjamin. N. Y.
4. Neilands, J. B. and P. K. Stumpf. 1958. *Outlines of Enzyme Chemistry.* John Wiley and Sons, N. Y.

5. Phillips, D. C. 1966. *The Three Dimensional Structure of an Enzyme Molecule*. Scientific American. 215 : 78-90.

6. Varner, J. E. 1965. *Enzymes* In *Plant Biochemistry*. J. Bonner and J. E. Varner [eds] pp. 14-20. Academic Press. N. Y.

পঞ্চম অধ্যায়

1. Beevers, H. 1961. *Respiratory Metabolism in Plants*. Harper and Row Publications. N. Y.

2. Beevers, H. 1974. Conceptual Development in Metabolic Control 1925-74. *Plant Physiol*. 54 : 437-442.

3. Bonner, W. D. Jr. 1965. Mitochondria and Electron Transport. Pages 81-113 in J. Bonner and J. E. Varner eds. *Plant Biochemistry*. Academic Press. N.Y.

4. Hollmann, S. 1964. *Non-Glycolytic Pathways of Metabolism of Glucose*. Academic Press. N. Y.

5. Ikuma, H. 1972. Electron Transport in Plant Respiration. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 23 : 419-436.

6. Stiles, W. and W. Leach. 1952. *Respiration in Plants*. Methuen & Co. Ltd. London.

7. Tolbert, N. E. 1971. Microbodies.—Peroxisomes and Glyoxysomes. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 33 : 45-74.

ষষ্ঠ অধ্যায়

1. Mudd, J. B. 1967. Fat Metabolism in Plants. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 18 : 229-252.

2. Stumpf, P. K. and C. Bradbeer, 1959. Fat Metabolism in Higher Plants. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 10 : 197-222.

3. Zill, L. P. and G. M. Cheniae, 1962. Lipid Metabolism. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 13 : 225-264.

সপ্তম অধ্যায়

1. Arnon. D. F. 1960. The Role of Light in Photosynthesis. *Sci. Amer.* 203 : 105-118.
2. Bassham, J. A. 1962. The Path of Carbon in Photosynthesis. *Sci. Amer.* 206 : 88-100.
3. Bassham, J. A. and M. Calvin. 1957. *The Path of Carbon in Photosynthesis.* Prentice-Hall. Englewood Cliffs, N. J.
4. Fogg, G. E. 1972. *Photosynthesis.* American Elsevier Pub. Co. N. Y.
5. Govindjee ed. 1975. *Bioenergetics of Photosynthesis.* Academic Press. N. Y.
6. Gregory, R. P. F. 1971. *Biochemistry of Photosynthesis.* John Wiley & Sons N. Y.
7. Hatch, M. D., C. B. Osmond and R. O. Slatyer eds. 1971. *Photosynthesis and Photorespiration.* John Wiley & Sons Inc. N. Y.
8. Jackson, W. A. and R. J. Volk. 1970. Photorespiration. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 21 : 385-432.
9. Levine, R. P. 1969. The Mechanism of Photosynthesis. *Sci. Amer.* 221 : 58-70.
10. Rabinowitch, E. and Govindjee. 1969. *Photosynthesis.* John Wiley & Sons N. Y.
11. San Pietro, F. A. *et al.* 1967. *Harvesting the Sun, Photosynthesis in Plant Life.* Academic Press. N. Y.
12. Zelitch, I. 1971. *Photosynthesis, Photorespiration and Plant Productivity.* Academic Press. N.Y.

অষ্টম অধ্যায়

1. Asimov, I. 1962. *The Genetic Code.* The New American Library of World Literature. N. Y.

2. Ber erson, F. J. 1973. Symbiotic N_2 Fixation by Legumes. Pages 189-226 in G. W. Butler & R. W. Bailey eds. *Chemistry and Biochemistry of the Herbage*. Vol-2. Academic Press. N. Y.
3. Bond, G. 1967. Fixation of N_2 by Higher Plants other than Legumes. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 18 : 107-126.
4. Burris, R. H. 1974. Biological N_2 Fixation 1924-74. *Plant Physiol*. 54 : 443-449.
5. Ellfolk, N. 1972. Leghaemoglobin—a Plant Haemoglobin. *Endeavour*. 31 : 139–142.
6. Jacob, F. and J. Monod. 1961. Genetic Regulatory Mechanism in the Synthesis of Protein. *J. Mol. Biol*. 3 : 318-356.
7. Stewart, W. D. P. 1966. *N_2 Fixation in Plant*. The Athlone Press. London.
8. Webster, G. C. 1959. *N_2 Metabolism in Plants*. Row, Peterson & Co. Evanston. Ill.
9. Holley, R. W. 1965. Protein Metabolism. Pages 346-366 in J. Bonner and J. E. Varner ed. *Plant Biochemistry*. Academic Press. N. Y.

নবম অধ্যায়

1. Bernal, J. D. 1965. The Structure of water and its Biological Implications. *Symposia of the Society for Experimental Biology*. 19 : 17-32.
2. Sutcliffe, J. 1968. *Plants and Water*. St. Martin's Press. N. Y.
3. Tait, M. J. and F. Franks. 1971. Water in Biological System. *Nature*. 230 : 91-94.

দশম অধ্যায়

1. Gut Knecht, J. 1968. Osmosis, Diffusion or Mass Flow. *Bio Science*. 18 : 503.
2. Kozlowski, T. T. 1964. *Water Metabolism in Plants*. Harper and Row Publications. N. Y.
3. Stadelmann, E. J. 1966. *Evaluation of Turgidity, Plasmolysis and Deplasmolysis of Plant Cells*. Pages 143-216 in D. M. Prescott ed. *Methods in Cell Physiology* vol-2. Academic Press. N. Y.
4. Stein, H. J. 1966. Osmotic Theory. *Bio Science*. 16 : 97.

একাদশ অধ্যায়

1. Gale, J. and R. M. Hagan. 1966. Plant Antitranspirants. *Ann. Rev. Plant Physiol. 17* : 269-282.
2. Kramer, P. J. 1969. *Plant and Soil Water Relationships : A Modern Synthesis*. McGraw Hill. N. Y.
3, Kozlowski T. T. ed. 1968. *Water Deficit and Plant Growth* in 3 vols. Academic Press. N. Y.
4. Levitt, J. 1974. The Mechanism of Stomatal Movement—Once More. *Protoplasma*. 82 : 1-17.
5. Meidner, H. and T. A. Mansfield. 1968. *Physiology of Stomata*. McGraw Hill Co. N. Y.
6. Raschke, K. 1975. Stomatal Action. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 26 : 309-340.
7. Zelitch, I. 1969. Stomatal Control. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 20 : 329–348.

দ্বাদশ অধ্যায়

1. Bose J. C. 1923. *Physiology of Ascent of Sap*. Longman Green & Co. London.

2. Richardson, M. 1968. *Translocation in Plants*. St. Martin's Press. N. Y.

3. Slatyer, R.O. 1960. Absorption of Water by Plants. *Bot. Rev*. 26: 331-392.

ত্রয়োদশ অধ্যায়

1. Anderson, W. P. ed. 1973. *Ion Transport in Plants*. Academic Press. N. Y.

2. Green, D. E. ed. 1972. Membrane Structure and its Biological Application. *Ann. N. Y. Acad. Sci*. 195 : 1-519.

3. Higinbotham, N. 1974. Conceptual Developments in Membrane Transport 1924-1974. *Plant Physiol*. 54 : 454-462.

4. Jennings, D. H. 1963. *The Absorption of Solutes by Plant Cells*. Iowa State University Press. Ames.

5. Sutcliffe, J. F. 1952. *Mineral Salts Absorption in Plants*. Pergamom Press. N. Y.

চতুর্দশ অধ্যায়

1. Canny, M. J. 1973. *Phloem Translocation*. Cambridge University Press. N. Y.

2. Crafts, A. S. and C. E. Crisp. 1971. *Phloem Transport in Plants*. W. H. Freeman & Co. San Francisco.

3. Spanner, D. C. 1971. Transport in the Phloem. *Nature*. 232 : 157-160.

পঞ্চদশ অধ্যায়

1. Bonner, J. T. 1952. *Morphogenesis—an Essay on Development*. Princeton University Press. U. S. A.

2. Bieleski, R. L., A. R. Ferguson and M. M. Cresswell. eds.

1974. *Mechanisms of Regulations of Plant Growth.* Bull-12. The Royal Society of New Zealand. Wellington.

3. Evans, G. C. 1972. *The Quantitative Analysis of Plant Growth.* Blackwell Scientific Publications Ltd. Oxford.
4. Evans, L. T. ed. 1963. *Environmental Control of Plant Growth.* Proceedings of a Symposium. Canberra. Australia. 1962. Academic Press. N. Y.
5. Kozlowski, T. T. ed. 1968. *Water Deficit and Plant Growth.* vols 1-3. Academic Press. N. Y.

ষোড়শ অধ্যায়

1. Audus, L. J. 1973. *Plant Growth Substances.* vol-1 Chemistry and Physiology Leonard Hill Ltd. London.
2. Jones, R. L. 1973. Gibberellins : Their Physiological Role. *Ann. Rev Plant Physiol.* 24 : 571-598.
3. Lang, A. 1970. Gibberellins. Structure and Metabolism. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 21 : 537-570.
4. Leopold, A. C. 1963. *Auxins and Plant Growth.* University of California Press. Berkeley and Los Angels.
5. Leopold, A. C. and P. E. Kriedeman. 1975. *Plant Growth and Development.* McGraw Hill. N. Y.
6. Milborrow, B. V. 1974. The Chemistry and Physiology of Abscisic Acid. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 25 : 259-307.
7. Skoog, F. and D. J. Armstrong. 1970. Cytokinins. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 21 : 359-384.
8. Wareing, P. F. and I. O. J. Phillips. 1973. *The Control of Growth and Differentiation in Plants.* Pergamon Press. Oxford.

9. Wilkins, M. B. 1969. *The Physiology of Plant Growth. and Development.* Tata-McGraw Hill Co. India.

সপ্তদশ অধ্যায়

1. Audus, L. J. 1962. The Mechanism of the Perception of Gravity by Plants. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 15 : 197-226.
2. Briggs, W. R. 1963. The Photoperiodic Responses of Higher Plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 14 : 311-352.
3. Gillespic, Barbara and W. R. Briggs. 1961. Mediation of Geotropic Responses by lateral Transport of Auxins. *Plant Physiol.* 36 : 364–368.
4. Wilkins, M. B. 1966. Geotropism. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 17 : 379-408.

অষ্টাদশ অধ্যায়

1. Bunning, E. 1967. *The Physiological Clock.* Academic Press. N. Y.
2. Hendricks. S. B. and H. A. Borthwick. 1954. Photoperiodism in Plants. *Proc. Intern. Photobiol Congr.* 23.
3. Hillman, W. S. 1962. *Thc Physiology of Flowering.* Holt, Rinehart & Winston. N. Y.
4. Murneek, A. E. and R. O. Whyte. 1948. *Vernalization and Photoperiodism.* Waltham. Mass. U. S. A. Chronica Botanica Publication.
5. Salisbury, F. B. 1963. *The Flowering Process.* Pergamon Press. N. Y.
6. Smith, H. 1975. *Phytochrome and Photomorphogenesis.* Mc-Graw Hill Co. London.
7. Sweeney, B. M. 1969. *Rhythmic Phenomenon in Plants.* Academic Press. N. Y.

8. Vince-Prue, D. 1975. *Photoperodism in Plants.* McGraw Co. N. Y.

ঊনবিংশ অধ্যায়

1. Biale, J. B. 1964. Growth, Maturation and Senescence in Fruits. *Science*. 146 : 880-888.
2. Leopold, A. C. 1961. Senescence in Plant Development. *Science*. 134 : 1727-1732.
3. Sacher, J. A. 1973. Senescence and Postharvest Physiology. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24 : 197–224.
4. Thiamann, K. V., R.R. Tetley and T.V. Thanh. 1974. The Mechanism of Oat Leaves During Senescence II. Senescence in Leaves Attached to the Plant. *Plant Physiol.* 54 : 859-862.
5. Woolhouse, H. W. ed. 1967. Aspects of the Biology of Ageing. *Soc. Expt. Biol. Symp.* No–21. Cambridge University Press. N. Y.

বিংশ অধ্যায়

1. Crocker, W. and L. V. Barton. 1957. *Physiology of Seeds.* Chronica Botanica. Waltham Mass.
2. Heydecker, W. ed. 1973. *Seed Ecology.* Pennsylvania State University Press. University Park.
3. Kozlowski, T. T. ed. 1972. *Seed Biology.* vol-3. Academic Press. N. Y.
4. Mayer, A. M. and A. Poljakoff-Mayber. 1963. *The Germination of Seeds.* Pergamon Press. N. Y.
5. Mayer, A. M. and Y. Shain. 1974. Control of Seed Gernination. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 25 : 167-193.

পুস্তকে ব্যবহৃত পরিভাষা

অঙ্কুরোদ্গম—Germination
অঙ্গ বার্দ্ধক্য—Organ senescence
অচক্রাকার—Non-cyclic
অতিমাত্রিক—Hypertonic
অতিমাত্রিক মৌল—Macro elements
অতিসূক্ষ্ম অংশু—Microfibrils
অধঃক্ষেপন—Precipatation
অধিপ্রাণবাদ—Vital theory
অনুবাদন—Translation
অন্তঃ উৎসেচক—Endo enzyme
অন্তর্জনিষ্ণু—Endogenous
অণু—Molecule
অপ্রতিদ্বন্দ্বী—Non competitive
অপ্রতিসম—Asymmetric
অবঃক্ষেপন গুণাঙ্ক—Sedimentation coefficient
অবমাত্রিক—Hypotonic
অবমাত্রিক মৌল—Microelement
অবিজারক শর্করা—Non reducing sugar
অভাবজনিত লক্ষণ—Deficiency symptoms
অভিকর্ষ উপলব্ধি—Geoperception
অভিকর্ষবৃত্তি চলন—Geotropism
অভিস্রবণ—Osmosis
অভিস্রবণীয় চাপ—Osmotic pressure
অমেরুবর্তী—Non polar
অসম্পৃক্ত—Unsaturated
অম্ল—Acid

আগাছা—Weed
আত্মীকরণ—Assimilation
আত্মীভূত—Imbibe
আর্দ্র বিশ্লেষণ—Hydrolysis
আধান—Charge
আপেক্ষিক তাপ—Specific heat
অ্যামাইনো স্থানান্তরণ—Transamination
আয়নীভবন—Ionization
আলোক গ্রাহক—Photoreceptor
আলোক জারণ—Photooxidation
আলোক শ্বসন—Photorespiration
আলোকবৃত্তি চলন—Phototropism
আহ্নিক ছন্দ—Diurnal or Circadian rhythm

উত্তেজক, উদ্দীপক—Activator
উদ্‌জানিক্ক—Hydrogenated
উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা—Plant Physiology

উদ্ভেদ—Differentiation
উদ্বায়ী তৈল—Essential oils
উপক্ষার—Alkaloids
উভধর্মী—Amphoteric
উভমুখী—Reversible
উষ্ণতাঙ্ক—Temperature coefficient (Q_{10})
উষ্ণতা পর্যাবৃত্তি—Thermo-periodism
উৎসেচক—Enzymes

একক—Unit
এককাণু—Sub-unit
একক পর্দা—Unit membrane
একমুখী—Irreversible

কর্বুর—Variegated
কর্ষণ পরীক্ষা—Culture experiment
কার্য বর্ণালী—Action spectrum
কীটঘ্ন—Insecticide
কোটি—Ordinate
কুণ্ডলী—Helix
কৈশিক—Capillary
ক্রমপর্যায়—Sequence
ক্রমবার্দ্ধক্য—Sequential senescence

ক্ষার—Alkali
খাদ্যপ্রাণ—Vitamins

গলন—Melting
গলনাঙ্ক—Melting point
গুণগত—Qualitative
গুণাঙ্ক—Coefficient
গৌণ—Secondary

ঘণীভবন—Condensation

চক্র—Cycle
চক্রাকার—Cyclic
চলন—Movement

জনক—Precursor
জল-কর্ষণ পরীক্ষা—Water culture experiment
জলবিভব—Water potential
জলসেচন—Irrigation
জারক—Oxidant
জারণ—Oxidation
জীবাণু—Micro organisms
জেনেটিক—Genetic
জেনেটিক সংকেত লিপি—Genetic code
জৈব পরিমাপণ – Bioassay
জৈব যৌগ – Organic compound
জৈব সংশ্লেষ – Biosynthesis
জৈবিক কর্মশক্তি তত্ত্ব – Bioenergetics
জৈবিক ঘটিকা – Biological clock

তাপ গতিবিদ্যা – Thermodynamic
তাপগ্রাহী – Endothermic
তাপমোচী – Exothermic

তাপ শক্তি—Heat energy
তাড়িত স্থৈতিক – Electrostatic
তেজস্ক্রিয় – Radioactive
তেজস্ক্রিয় নির্দেশক – Radioactive tracer
তৈল – Oils
ত্রিমাত্রিক – Three diamensional

দ্রাবক – Solvent
দিবাদৈর্ঘ্য – Day length
দ্বিতীয় পর্যায়ক্রমিক – Secondary
দ্বিবন্ধনীযুক্ত – Double bond

ধাতব পুষ্টি – Mineral nutrition
ধ্রুবক – Constant

নতিমাত্রা – Gradient
নির্দিষ্টতা – Specificity
নির্যাসিত – Extracted
নিয়ন্ত্রক প্রভাবক – Limiting factors

পত্রপরিমণ্ডল – Phyllosphere
পত্রপুষ্টি – Foliar nutrition
পত্ররন্ধ্র – Stomata
পরম – Optimum
পরমোত্তর – Supra optimal
পরিবলন – Circumnutrition
পরিবহণ – Transport, conduction
পার্শ্বীয় – Lateral
পুঞ্জপ্রবাহ – Mass flow

পুষ্টি – Nutrition
পূরক – Complementary
পৃষ্টটান – Surface tension
পৃষ্ঠলগ্ন – Adsorbed
প্রতিদ্বন্দ্বিতা – Antagonism
প্রতিরোধক—Inhibitors
প্রতিদ্বন্দ্বী—Competitive
প্রতিলিখন—Transcription
প্রবাহ—Flow
প্রভাবক—Factors
প্রসারণ সাধ্য শক্তি—Tensile strength
প্রস্বেদন—Transpiration
প্রস্বেদন প্রতিরোধী—Antitranspirants
প্রশম—Neutral
প্রশমিত – Neutralise
প্রাথমিক—Primary
প্রায়োগিক সংকেত – Empirical formula

বর্ণীয় লিখনপত্র—Chromatographic paper
বন্ধনী—Bond, Linkage
বলন – Nutation
বলয়াপসরণ পরীক্ষা—Ringing experiment
বহির্জনিষ্ণু—Exogenous
বহিঃউৎসেচক – Exo enzymes
বংশগত – Hereditary
বার্তাবহ – Messenger

বার্দ্ধক্য – Senescence
বাফার তন্ত্র – Buffer system
বালু কর্ষণ – Sand culture
বাসন্তীকরণ – Vernalization
বাষ্পীভবন – Vapourization
বিকলন – Denaturation
বিকাশ – Development
বিচ্ছুরণ – Diffraction
বিজারক – Reductant
বিজারক শর্করা – Reducing sugar
বিজারণ – Reduction
বিভব – Potential
বিশ্লেষ – Dissociation
বিশ্লেষণ – Analysis
বিষমপ্রকৃতি – Heterogenous
বীজপত্র – Cotyledons
বৃদ্ধি – Growth
ব্যাপন – Diffusion
ব্যাপন চাপ ঘাটতি – Diffusion pressure deficit (DPD)

ভারসাম্য – Balance
ভিন্নচক্রী – Heterocyclic
ভেদ্যতা – Permeability
ভেষজ—Drug
ভুজ – Abscissa
ভ্রূণমুকুলাবরণী – Coleoptile

মাত্রিক – Quantitative
মিথস্ক্রিয়তা – Interaction
মুক্তশক্তি – Free energy
মূলজ চাপ – Root pressure
মূল পরিমণ্ডল – Rhizosphere
মৃতজীবী – Saprophytes
মৃত্তকায় জলধারণ ক্ষমতা – Water holding capacity
মেরুবর্তী – Polar
মোচন – Abscission

যোজ্যতা – Valancy

রক্ষীকোষ – Guard cell
রঞ্জন রশ্মি – X-ray
রসস্ফীতি – Turgidity
রাসায়নিক সংশ্লেষ – Chemo-synthesis
রেখাকার – Curve
রৈখিক – Linear

লীনতাপ – Latent heat
লেখ – Graph
লোহিত চ্যুতি – Red drop

শর্করা – Sugars
শর্করাবিহীন অংশ – Aglycons
শক্তি – Energy
শ্বসন – Respiration
শ্বাস ভাগফল – Respiratory Quotient (RQ)
শ্বেতসার – Starches
শৃঙ্খল – Chain
শোষণ – Absorption
শোষণ বর্ণালী – Absorption spectrum

সক্রিয় – Active
স্খলন চিহ্ন – Necrotic spot
স্নেহ পদার্থ – Lipids, Fats
স্ফীতিচাপ – Turgour pressure
সমকালীন বার্দ্ধক্য – Synchronous or Simultaneous senescence
সম্পৃক্ত – Saturated
সমপ্রকৃতি – Homogenous
সমবর্তিত আলোক – Polarised light
সমতাড়িৎ বিন্দু – Iso electric point
সমমাত্রিক – Isotonic
সমাংশক – Isomer
সমসংযোগ – Cohesion

সস্য – Endosperm
সহউৎসেচক – Coenzymes
সংবন্ধন – Fixation
সংবেদী – Sensitive
সংশ্লেষ – Synthesis
সান্দ্রতা – Viscosity
সাম্য ধ্রুবক – Equilibrium constant
সাম্যাবস্থা – Equilibrium
সালোকসংশ্লেষ – Photosynthesis
সুপ্তাবস্থা – Dormancy
সুষম দ্রবণ – Balanced solution
সূত্র – Law

হিমাঙ্ক – Freezing point